


**MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA
INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO**

JUAN FELIPE VELASCO. CÓDIGO: 505859
JESUS FELIPE CAMARGO. CÓDIGO:505476

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2019

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO


JUAN FELIPE VELASCO. CÓDIGO: 505859
JESUS FELIPE CAMARGO. CÓDIGO:505476

**Proyecto de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil**

DIRECTORA DE PROYECTO
ING. INGRID MARYLIN SILVA ROJAS

ASESOR EXTERNO
ING. CARLOS JOSE SLEBI ACEVEDO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2019

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C, 29 ABRIL de 2019

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-ND 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer un uso comercial de esta obra


Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


DEDICATORIA

Gracias a Dios por permitirme culminar este proceso de mi formación profesional; a mi madre, Bibiana Janneth Valdez, por demostrarme que siendo juicioso fuerte podría llegar hasta hoy estoy, por darme los mejores consejos; a mi tía Zoraida Camargo, quien ha sido mi apoyo en mi estadía en Bogotá Y ha creído en mí y me ha llenado de fortaleza, paciencia. A mi hermano: Carlos Camargo, por su ejemplo y motivación. A mi abuela, tías, primos, padrinos, sobrina, amigos y a todas aquellas personas que me ayudaron, creyeron y aportaron conocimiento para cumplir mi objetivo. A ustedes mi más sincero agradecimiento.

Jesús Felipe Camargo Arcila

Agradezco a Dios que me ha dado la vida y la oportunidad de poder iniciar mi carrera y llegar a un punto esencial de mi vida permitiéndome crecer como persona junto a los seres queridos, mi madre Leonor Piñeres por darme su amor el cual que me ha motivado semestre tras semestre seguir adelante y su apoyo moral e incondicional que llena de felicidad cada día, a mi padre Hugo Velasco por su inmenso esfuerzo por darme su apoyo económico y su gran interés en terminar mi carrera contribuyendo a mi formación profesional y forjándome mejorar cada día, a mi hermana Ximena Velasco Piñeres por ser mi ejemplo a seguir haciéndome saber que hay que ser paciente y trabajar duro para conseguir los objetivos esperados, a mi hermana Adriana Velasco Piñeres que a pesar la distancia me presta su atención y me ofrece los consejos más sabios para avanzar cada día en mis metas y proyectos

Juan Felipe Velasco Piñeres

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

AGRADECIMIENTOS

La universidad católica de Colombia en su virtud de formación a la persona permitió obtener los conocimientos necesarios al contar con un cuerpo docente de inmensos conocimientos en cada una de las ramas de la ingeniería civil permitió que semestre tras semestre se realizara un gran aporte en la formación profesional de cada uno de los estudiantes permitiéndoles llegar al último semestre con una consolidada educación.

La investigación se pudo realizar con la supervisión y guía de la Ingeniera civil Ingrid Silva, agradecemos su tiempo, su paciencia y exigencia en la realización de este proyecto y por su gran contribución en la Universidad Católica de Colombia como docente de varias asignaturas, guiando la formación profesional de cada uno de los estudiantes aportando ofreciendo sus amplios conocimientos en la formación de los ingenieros civiles.

Agradecimiento al ingeniero civil Carlos José Slebi, colaborador externo en la investigación el cual fue profesor de la universidad católica de Colombia, en el proyecto determinó el punto de orientación en la investigación, a pesar de la distancia aportó el tiempo necesario para delimitar los parámetros y lineamientos necesarios para aplicar en el desarrollo del proyecto.

De manera especial, agradecimientos a los laboratoristas de la Universidad Católica De Colombia, los cuales dieron la guía para la fase experimental del proyecto, dando guía y observaciones necesarias para un óptimo uso de cada uno de los materiales y equipos.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.	11
2	ANTECEDENTES	12
3	JUSTIFICACIÓN.	14
4	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
5	OBJETIVOS	16
	5.1 General.....	16
	5.2 Específicos	16
6	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	17
	6.1 ALCANCE.....	17
	6.2 LIMITACIONES.	17
7	MARCO DE REFERENCIA	18
	7.1 MARCO CONCEPTUAL.....	18
	7.2 ESTADO DEL ARTE.	21
	7.3 MARCO CONCEPTUAL.....	29
	7.3 MARCO NORMATIVO.....	31
8	METODOLOGÍA.....	40
9	ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
10	CONCLUSIONES	86
11	BIBLIOGRAFÍA	87
12	ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS



 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Tabla : 1 Especificaciones y mejoras de fibras en HMA **Error!** **Marcador** **no definido.**

Tabla : 2 Agregados Finos	33
Tabla : 3 Combinación agregado grueso 3/4 "	34
Tabla : 4 Combinación Agregado Fino 1/2"	34
Tabla : 5 Índice de aplanamiento	35
Tabla : 6 Índice de alargamiento	35
Tabla : 7 Características Arena trituración	36
Tabla : 8 Curva granulométrica para arena de trituración	37
Tabla : 9 Características Arena natural	37
Tabla : 10 Tamaño de tamiz y cantidad de partículas que pasa	39
Tabla : 11 Matriz Cántabro Seco	43
Tabla : 12 Matriz cántabro húmedo	45
Tabla : 13 Datos principales de diseños patrón - diseños con fibra Nylon	65
Tabla : 14 Resultados de Cántabro seco para diseños patrón - diseños fibra Nylon	67
Tabla : 15 Datos principales de diseños patrón y diseños fibra nylon	68
Tabla : 16 Resultados de Cántabro húmedo para diseños patrón - diseños fibra Nylon	73
Tabla : 17 Datos principales de diseños patrón y diseños fibra Polipropileno	77
Tabla : 18 Resultados de cántabro seco para diseños Patrón - fibra polipropileno	79
Tabla : 19 Datos principales para diseños de fibra polipropileno	82
Tabla : 20 Datos principales para diseños de Patrón y de fibra polipropileno	84

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
---	---	-----------------------------

GLOSARIO

Dosificación: La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o adherencia correctos¹.

Asfalto: El asfalto es una mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y de minerales que mayormente es empleada para construir el pavimento de las calzadas².

Infraestructura vial: es el medio a través del cual se le otorga conectividad terrestre al país para el transporte de personas y de carga, permitiendo realizar actividades productivas, de servicios, de distracción y turísticas³.

Módulo de rotura: Característica que mide el esfuerzo a flexotracción del concreto mediante vigas de sección cuadrada de 150x150 y 500 mm de longitud, para medir los esfuerzos de tracción en placas de concretos usados para pavimentos.

Módulo de elasticidad: Parámetro característico de cada material que señala la relación en los aumentos de tensión aplicados en el ensayo de tracción y los incrementos de la deformación longitudinal unitaria.⁴

Permeabilidad: Es la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo.

Porosidad: Porción de un material que no es sólida.⁵

Granulometría: Es un ensayo de laboratorio que determina y clasifica las partículas según su tamaño, a partir de la sedimentación.

Mezcla: Técnica que consiste en combinar dos o más suelos de diferentes propiedades fisicoquímicas con el objetivo de lograr una única capa de suelo.⁶

Abrasión: la abrasión se puede definir de una superficie de un material al ser desgastada por el roce y fricción. Este caso puede traer muchas consecuencias en el comportamiento de la durabilidad.⁷

¹ ICPC, SOLINGRAL. Manual de dosificación de mezclas de concreto. Medellín (Colombia), 1974.

² Florencia Ucha | Sitio: Definición ABC | Fecha: agosto. 2010.


³ Revista EMB Construcción - Pavimentos en infraestructura vial.

⁴ Mora, S. (2006). Pavimentos de concreto hidráulico. F1C-UNI ASOCCEM.

⁵ Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. Tecnológicas, 169-187.

⁶ Reyes-Ortiz, O. J., Camacho-Tauta, J. F., & Londoño León, A. (2013). Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del agregado pétreo. Revista Científica General José María Córdova, 11(12), 215-232.

⁷ Silva, G., Muñoz, A., Feliu, C., Monzó, M., Barberá, J., & Soler, C. (2006). Propuesta de método normalizado para la determinación de la durabilidad frente al tránsito peatonal de pavimentos. En: Qualicer.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Agregados pétreos: los materiales pétreos son aquellos que provienen de la roca, de una piedra o de un peñasco, normalmente se encuentran en forma de bloques o fragmentos de distintos tamaños, principalmente en la naturaleza, aunque de igual modo existen otros que son procesados e industrializados por el ser humano.⁸


Desgaste: el desgaste es la pérdida de material en la superficie de un material, cuando se le aplica un movimiento repetitivo.⁹

Fibras: monofilamentos de origen natural o sintético que poseen propiedades de alta resistencia, gran dureza, tenacidad y resistencia y son muy usados por la industria.¹⁰

⁸ Yam55, J. L. C., Carcaño56, R. S., & Moreno, E. I. (2000). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto.

⁹ Ermín, R., & Gonzalo, A. (2006). Nivel de satisfacción laboral y síndrome de desgaste profesional en médicos familiares. Rev Med Inst Mex Seguro Soc, 44(6), 535-540.

¹⁰ Tamura, T. (1993). FIBRA. In Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (pp. 291-303). Elsevier.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


1 INTRODUCCIÓN.

El desarrollo del proyecto busca determinar la influencia en la abrasión y el desgaste que tiene la adición de fibras nylon y polipropileno en las mezclas asfálticas porosas, al ser sometidas al ensayo cántabro bajo condiciones secas y húmedas. Este proceso es llevado a cabo por medio de la fabricación de una serie de briquetas, las cuales poseen la misma granulometría y cantidad de agregado pétreo, pero se efectúa la variación en la cantidad de betún, tipo de fibra y cantidad de fibra.

Dentro del desarrollo del proyecto se plantea la fabricación de todas las briquetas bajo el diseño de mezcla asfáltica porosa efectuando la variación en la dosificación de betún en porcentajes de 4.4%, 4.8% y 5.2% del peso de la briketa. Una serie de muestras se fabrican bajo los diseños patrón, que no poseen adición de fibra y son utilizados como referencia para comparar en términos de abrasión y desgaste con los diseños que poseen la adición de fibra nylon y polipropileno en contenidos de 0.03% y 0.06% del peso de la briketa.

Por medio del ensayo cántabro se determinó que la adición de fibras en las mezclas asfálticas porosas mejoró la resistencia a la abrasión y desgaste, evaluando y comparando el peso de las partículas perdidas en las briquetas que poseen adición fibra respecto a las que no poseen la adición de fibra.

El proyecto busca tener un aporte en el crecimiento progresivo que se presenta en la renovación y diseño de nueva infraestructura vial a nivel nacional e internacional, ya que está directamente vinculado al compromiso que poseen los ingenieros civiles al ofrecer los mejores resultados en el desarrollo del entorno, en la proporción que se presente la implementación de nuevas técnicas aplicadas a la ingeniería de pavimentos que permita diseñar estas estructuras optimizando su desempeño, con el fin de ofrecer mejor calidad y confort al usuario que transite por un tramo de vía específico y comodidad a la población cercana a estas rutas que a diario conviven con la contaminación auditiva que estas generan al cumplir su función de circulación vehicular.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


2 ANTECEDENTES

En España las entidades CEDEX (Centro de estudios y experimentaciones de obras públicas de España) y FISIFE BARCELONA S.A (fabricante de fibras acrílicas), realizaron un estudio que busca determinar las mejoras que proporcionan las fibras acrílicas en las mezclas asfálticas convencionales y drenantes. En primer lugar, se estudia la influencia de las fibras acrílicas en el comportamiento de las mezclas a deformaciones plásticas y la evolución a fatiga que resultan ser los principales problemas que presentan los pavimentos que poseen mezcla asfáltica porosa en su capa de rodadura. Se evalúan las deformaciones plásticas mediante el ensayo de carga repetitiva, y para determinar la resistencia al agrietamiento se ha recurrido al ensayo de fatiga por flexo tracción. El análisis se lleva a cabo mediante el programa de cálculo BISAR, para evaluar el efecto del empleo de fibra acrílica en la durabilidad de las mezclas. También se estudian las mezclas drenantes y la influencia de las fibras acrílicas en la resistencia a la disgregación y abrasión del tráfico mediante el ensayo Cántabro, tanto en seco como tras inmersión en agua, para evaluar la adhesividad y la resistencia a la acción de desmenuamiento del agua¹¹.

En Colombia la Pontificia Universidad Javeriana en el centro de investigación, carreteras, transporte y afines realizó un estudio con el uso de desechos plásticos en mezclas asfálticas abiertas para el diseño de pavimentos flexibles, teniendo en cuenta tres elementos fundamentales los cuales resultan el agregado pétreo, el betún y los modificadores. Las muestras diseñan con los parámetros de mezclas porosas, la granulometría y tipo de betún 70-90 bajo especificaciones de normativa Invías. Las briquetas se someten a ensayos de fatiga y ahuecamiento bajo parámetros de la asociación francesa de normalización (Anfor), y se realiza un ensayo de modulo dinámico y se realizó bajo la normativa Colombiana Invías. En el desarrollo del estudio se determina la positiva respuesta mecánica de los nuevos materiales ante las cargas vehiculares para aumentar la vida útil de las mezclas asfálticas, contribuyendo con la mitigación del impacto ambiental que genera los desechos no biodegradables¹².

¹¹ GONZALEZ AMAGO, D., & GARCIA CARRETERO, J. (2004). Influencia de las fibras acrílicas en las mezclas porosas y en las mezclas convencionales. *CARRETERAS, REVISTA TECNICA DE LA ASOCIACION ESPANOLA DE LA CARRETERA*, (131).

¹² Reyes Lizcano, F., & Figueroa Infante, A. (2008). Usos de desechos plásticos en mezclas asfálticas.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En cuanto a los residuos RCD (Residuos de construcción y demolición) se han encontrado alternativas para el aprovechamiento de los residuos para contribuir en las mejoras de resistencia en las mezclas drenantes, utilizando la adición de fracciones finas o gruesas en el diseño de la mezcla lo que se ha buscado en este caso, es ser usado en la reutilización de la capa asfáltica o en la base granular existente debido a que este tipo de material para que pueda ser usado en mezclas drenantes debe ser un residuo bastante limpio¹³.

En los ensayos mecánicos que se le realizan a las mezclas drenantes también se han realizado estudios de permeabilidad e infiltración y como es el comportamiento en estas mezclas, para estos ensayos como el “El LCS permite medir la capacidad de drenaje de una superficie porosa en función del tiempo que necesita dicha superficie para infiltrar una altura de agua”¹⁴ este ensayo fue tomado en base a la Normativa NLT-327/00 (2000) y se adaptó a las Normativa colombiana (INVIAS) Este ensayo permite conocer como es el comportamiento ante infiltración en un pavimento que esta recientemente inaugurado y comparar después de n años de funcionamiento, cada uno de estos ensayos demuestra un comportamiento diferente en base al material modificado del cual este fabricada la briqueta de mezcla modificada en el laboratorio.


Los investigadores a lo largo del estudio llevado a cabo en la Universidad Javeriana en la facultad de ingeniería civil, diseñaron un pavimento rígido con una estructura permeable con adiciones de tiras de plástico de diferentes medidas (de 2 mm x 10 mm y de 4 mm x 20 mm) y en diferentes porcentajes (0.025%, 0.05%, 0.075%, 0.100%, 0.200%, 0.300%, 0.400% y 0.500%), efectuando ensayos a flexión, la tracción indirecta y el módulo de elasticidad, para que a partir de los resultados obtenidos se pueda determinar el tipo de tira más adecuada y el porcentaje óptimo para obtener un diseño para un pavimento rígido netamente permeable y que este a la par con los demás pavimentos en cuanto a su comportamiento ante los diferentes esfuerzos.

Concluyendo que la adición de tiras de desechos plásticos en un porcentaje de 0.10% con dimensiones de 4 mm x 20 mm permite que el concreto poroso mejore sus características en cuanto al comportamiento ante los esfuerzos, principalmente al de flexión¹⁵.

¹³ Pasandín, A. R. (2013). Sensibilidad al agua y propiedades mecánicas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición.

¹⁴ SAÑUDO FONTANEDA, Luis Ángel, et al. Análisis de la infiltración de agua de lluvia en firmes permeables con superficies de adoquines y aglomerados porosos para el control en origen de inundaciones Repositorio Abierto Universidad de Cantabria. 2014.

¹⁵ CANESSA, Jaime Andrés Campos. Seguimiento y comparación del comportamiento de tramos con mezcla drenante, según zona geográfica y condiciones locales. 2008.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


3 JUSTIFICACIÓN.

El proyecto está centrado en determinar la respuesta ante la abrasión y desgaste en las mezclas asfálticas porosas por medio de la adición de fibras, obteniendo resultados que permitan contribuir en la ingeniería de pavimentos, la cual está en la búsqueda constante de los métodos y tecnologías que permitan ofrecer los diseños óptimos en calidad, costo, materiales, funcionamiento y durabilidad contribuyendo con la continua mejora los productos que se ofrecen en las vías.

El proyecto es innovador ya que está investigar las nuevas técnicas de diseño en mezclas asfálticas porosas tal como lo es la adición de fibra Nylon y Polipropileno, tomando como referencia la gran acogida y éxito que estas mezclas asfálticas tienen a nivel nacional e internacional, se busca dar resultados que mejoren la respuesta al desgaste y la abrasión, proporcionando un aporte en la disminución de partículas perdidas. Se toma como referencia los países europeos que implementan el uso de pavimentos diseñados con mezclas asfálticas donantes o porosa. En el desarrollo del proyecto se espera aplicar los estándares de calidad europeos debido a la amplia información en el tema que estos proporcionan y llevando a cabo ensayos por medio de estudios pioneros en las mezclas asfálticas tal como el ensayo Cántabro.

Se opta por el diseño de mezclas asfálticas porosas para enfocar el proyecto de investigación a las nuevas tecnologías de diseño, uso innovador que estas tienen a nivel nacional e internacional y el aporte en la seguridad del usuario que transita por un tramo de vía específico, ya que el pavimento diseñado con estas mezclas permite drenar el agua presente en la superficie de manera más eficiente por medio de los poros, evitando la formación de una delgada película de agua que causa el hidroplaneo, el cual reduce el área de contacto entre los neumáticos del vehículo y la superficie del pavimento que puede generar la pérdida de tracción y ser la posible causa de un accidente.

Se busca proporcionar seguridad y confort tanto al conductor como a la comunidad cercana a estas rutas contribuyendo a la mitigación de la contaminación auditiva por medio del diseño de pavimentos porosos que absorben una porción de la onda sonora, disminuyendo el ruido generado por el contacto entre los neumáticos de los vehículos y la capa de rodadura.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

4 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La gran mayoría de las rutas viales a nivel nacional están construidas a base de mezclas asfálticas densas en caliente, generalmente compuestas de material granular y asfalto, estos pavimentos ofrecen un óptimo desempeño durante su periodo de diseño, pero en el momento en que estas rutas poseen agua en su superficie, forman una delgada capa de agua que no es drenada de manera eficiente por el bombeo que presenta los pavimentos, generando en algunos casos la pérdida de tracción en los vehículos siendo esta una posible causa de los múltiples accidentes de camiones, vehículos y motocicletas en determinados tramos de vía.

Se busca implementar en el diseño de las mezclas asfálticas porosas las cuales reducen considerablemente los riesgos ya mencionados que generan las mezclas densas, teniendo en cuenta que estas últimas poseen mayor resistencia mecánica que las porosas, por lo cual se desea mejorar la resistencia mecánica de estas.

¿La adición de fibras nylon y polipropileno mejora la resistencia al desgaste y abrasión de las mezclas asfálticas porosas?

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


5 OBJETIVOS

5.1 General

Determinar la influencia en la abrasión y el desgaste que tiene la adición de fibras nylon y polipropileno en las mezclas asfálticas porosas, al ser sometidas al ensayo cántabro bajo condiciones secas y húmedas.

5.2 Específicos

- Generar la matriz de trabajo que sea útil para recopilar la información de: tipo de diseño, tipo de fibra, contenido de betún, contenido de fibra, dimensiones de la muestra (diámetro y altura).
- Evaluar la pérdida de partículas en las muestras que poseen adición de fibras respecto a las que no poseen fibra.
- Determinar dosificación en la cantidad de betún y fibra que permitan mejorar la resistencia al desgaste respecto a las muestras que no poseen la adición de fibra.
- Determinar la diferencia en los resultados de las muestras al estar en condiciones secas y húmedas de ensayo cántabro.
- Determinar resistencia en la abrasión en la mezcla para contenido de Nylon y Polipropileno, cuantificando en peso la pérdida de partículas de cada diseño.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

6 ALCANCE Y LIMITACIONES.

6.1 ALCANCE


En el proyecto se busca analizar el impacto mecánico en la resistencia al desgaste con las fibras de nylon y polipropileno en una mezcla asfáltica porosa, proponiendo la realización de (90) muestras para el ensayo, por medio de tres dosificaciones de fibra y dos contenidos de betún asfáltico. Se espera lograr siguiendo el procedimiento adecuado presente en literatura bibliográfica y seguimiento de la normativa europea ya que esta posee los parámetros de diseño en el tema a investigar.

6.2 LIMITACIONES.

En el desarrollo del proyecto se realiza la fabricación de las briquetas con betún y agregado pétreo con su caracterización ya establecida por medio de la ficha técnica bajo estándares de Invías para el diseño, la muestra patrón que servirá como modelos para realizar las siguientes (90) muestras de ensayo para las mezclas, las cuales se realizarán variando la cantidad de fibra y betún en cada una de ellas.

El plan de ensayos para los (90) muestras de mezcla asfáltica porosa por medio de los equipos que posee la universidad, como materiales se utilizará fibra de nylon según las dimensiones cuantitativas de comercialización y el proveedor de en la ciudad que proporciones el producto de calidad óptimo para la adición en el diseño de la mezcla.

Se espera alcanzar el tiempo limitado para determinar los resultados óptimos de resistencia al desgaste del material en el desempeño de las mezclas utilizando los equipos presentes en el laboratorio de ingeniería, se tiene en cuenta la incorporación de las nuevas máquinas de ensayo las cuales serán de gran ayuda en la precisión de los resultados que se desean alcanzar.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

7 MARCO DE REFERENCIA

7.1 MARCO CONCEPTUAL.

Pavimentos porosos: Los pavimentos porosos están diseñados y contruidos hoy para proporcionar uno o más de los siguientes beneficios funcionales: menor ruido de tráfico, mayor seguridad en la conducción en clima húmedo, menor carga máxima de aguas pluviales y reposición de suministros de agua subterránea. Sin embargo, dependiendo del diseño de la mezcla y las propiedades del material de un pavimento poroso, no todos estos beneficios se pueden lograr completamente con el pavimento poroso.¹⁶


Los factores que afectan los beneficios funcionales incluyen la porosidad, las propiedades del aglutinante y los agregados, y el contenido de aglomerante y la gradación agregada de la mezcla porosa. Actualmente, ninguna agencia ha especificado ningún procedimiento de prueba de laboratorio para que los ingenieros de pavimentos evalúen las características funcionales durante la fase de diseño de la mezcla. Tales procedimientos de laboratorio son útiles en la práctica para el diseño de pavimentos porosos. Este estudio demuestra que se puede realizar un conjunto de pruebas de laboratorio basadas en los equipos y métodos disponibles actualmente, junto con la evaluación funcional relacionada, para cumplir con el propósito. Las siguientes pruebas de laboratorio sobre la combinación de diseño se proponen en este estudio:

- Prueba de permeabilidad.
- Escaneo tridimensional de la textura de la superficie.
- Prueba de resistencia al deslizamiento.
- Prueba de absorción del sonido.¹⁷

Los datos de prueba se pueden usar para el análisis de la capacidad de drenaje, la evaluación de la resistencia al deslizamiento en climas húmedos y el análisis de ruido en el pavimento de los neumáticos.

¹⁶ Castro, J., de Solminihac, H., Videla, C., & Fernández, B. (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. *Revista ingeniería de construcción*, 24(3), 271-284.

¹⁷ Pérez Gordillo, J. J. (2017). Influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, Trujillo 2017.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

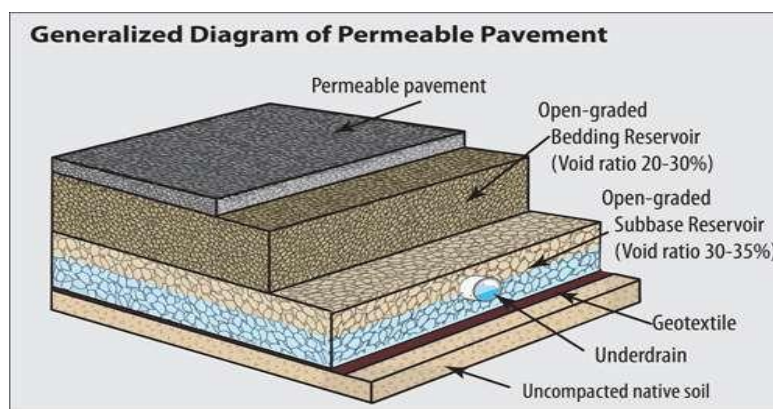
Pavimento de concreto poroso: El pavimento de concreto hidráulico poroso se constituye con los mismos materiales que el concreto hidráulico convencional, la diferencia es que se eliminan las fracciones más finas, con el fin de proporcionar una alta porosidad y aumentar la capacidad filtrante del material.¹⁸

Sus ventajas estructurales y económicas en comparación con el pavimento tradicional son numerosas, ya que constituyen una superficie más seca durante un evento de tormenta, lo que hace que estos sistemas sean más seguros para los conductores, producen menos ruido que los sistemas tradicionales con una disminución del ruido generado por el contacto del neumático con el pavimento.

Destacando la excelente adherencia entre las llantas de un vehículo y el pavimento cuando éste está mojado y la disminución de los accidentes de tránsito. Otras ventajas atribuidas son:


- Remoción eficiente de partículas contaminantes de la escorrentía superficial tales como metales pesados, aceites y sedimentos.
- Reducción significativa del volumen y de la velocidad de la escorrentía superficial.
- Alta capacidad de adaptación al entorno.
- Bajo costo en el mantenimiento.

Imagen 1. Estructura de un pavimento drenante.



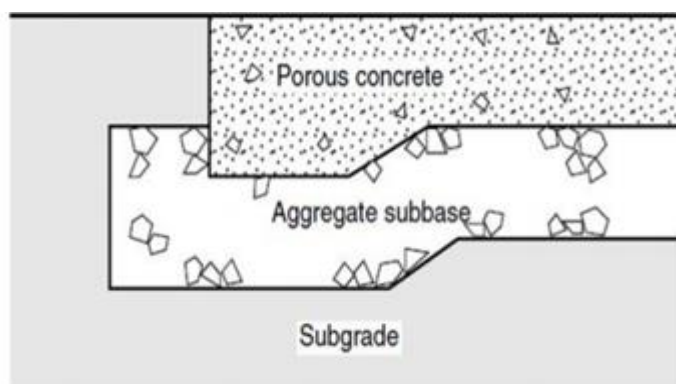
Fuente: environmentally beneficial uses of aggregates to be highlighted throughout 2017.

¹⁸ De Araújo, P. R., Tucci, C. E., & Goldenfum, J. A. (2000). Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. Braz. J. Water Resour, 5(3), 21-29.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

Estructura de un pavimento de concreto poroso: La instalación de las losas de concreto poroso debe situarse sobre una cama de base de agregado grueso que permita el paso del agua a través de la infiltración, en condiciones de control por la norma ASTM C936, tal que proporcione resistencia a la compresión, absorción de fluidos, resistencia a la congelación, resistencia a la abrasión, etc. Esta norma también señala que el agregado de la base debe ser grueso, de unos 12 a 25 mm, con separación de 5 a 10 mm entre partículas y con una cantidad de vacíos que permita una porosidad de 30 al 40 %, alcanzando una permeabilidad de al menos 25 000 mm/h (suministrado localmente), en donde el área efectiva de absorción del agua de escorrentía de una losa sea de alrededor del 12 al 13 % de su área superficial, con una tasa de permeabilidad de 5 000 a 100 000 mm/h.¹⁹


Imagen 2. Estructura de un pavimento drenante.



Fuente: Ferguson, B. (2005). Porous pavements, pág 43.

USO DE FIBRAS: en los últimos años, el uso de fibras como refuerzo del concreto ha tenido un auge importante en los diseños y la producción de la mezcla. Sin embargo, no se trata de una técnica nueva en el mundo de la construcción; de hecho, se remonta muchos años antes de la aparición del cemento Pórtland y del concreto, cuando se utilizaban materiales como pasto, hilo, vara, e inclusive, pelo animal, los cuales eran considerados agregados al adobe con el fin de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a tensión.

¹⁹ Trujillo López, A., & Quiroz Lasprilla, D. P. (2013). Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano (Bachelor's thesis, Facultad de Ingeniería).

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

No obstante, el avance en la tecnología para la Industria de la construcción ha permitido desarrollar fibras de diversos materiales, las cuales son especialmente resistentes a los álcalis, tales como: polipropileno, polietilenos, acero, carbono, entre otros.

El rol principal de las fibras está ligado a Reducir la fisuración por asentamiento plástico, también reducir contracción plástica y disminuir la permeabilidad e Incrementar en la resistencia a la abrasión y al impacto.²⁰

Imagen 1. Fibras en función del Asfalto.




Fuente: texdelta – Material geotextil.

7.2 ESTADO DEL ARTE.

MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES

En los últimos años se han realizado investigaciones en el campo de los pavimentos, más específicamente en la parte de mezclas asfálticas modificadas además de sus propiedades, su comportamiento y como se ha aplicado en el campo de la ingeniería. Actualmente cada uno de los avances se verán reflejados y sintetizados en el siguiente documento. En este caso se centrará en investigaciones enfocadas hacia la parte drenante.

²⁰ Barreda, M., Iaiani, C., & Sota, J. D. (2000). Hormigón reforzado con fibras de polipropileno: tramo experimental de un pavimento de hormigón. *IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga*, 1145-1150.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Las mezclas asfálticas Drenantes o porosas, conforman una superficie de rodadura especial para los pavimentos flexibles. Tienen una granulometría característica, lo cual permite la infiltración de las aguas de escorrentía pluvial, gracias al contenido de vacíos que posee, alrededor del 20 %. Sus modificaciones provienen de los materiales modificados los cuales pueden variar desde polímeros hasta agregados de RCD entre otros.

En cuanto a los materiales una de MDr (Mezcla Drenante), se deben satisfacer una serie de requerimientos para agregados pétreos y llenante mineral, estos deberán tener una composición natural la cual al entrar en contacto con el material asfáltico no permita el desprendimiento o disgregación de material ocasionado por factores como el agua y las cargas aplicadas por el tránsito. A continuación, se presentan los requerimientos establecidos basados en el artículo 400 -13 del acuerdo con el instituto nacional de Vías de Colombia ²¹.

Tabla 1. Determinación de los agregados minerales.


DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Agregado grueso	Porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
Agregado fino	Porción del agregado comprendida entre los tamices de 4.75 mm y 75 μ m (No. 4 y No. 200)
Llenante mineral – Llenante mineral de aporte	Porción que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200). – Fracción del llenante que se incorpora a la mezcla por separado.

Fuente: Art 400-1 Invias 2013.

La procedencia de este tipo de materiales el agregado fino debe provenir en su totalidad de material de cantera, grava natural o fuentes naturales de arena que cumplan con requisitos de dureza y durabilidad. La llenante mineral deberá provenir de procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos; más adelante se enfatizará en estos parámetros.

La elaboración de la mezcla asfáltica se realiza a partir de material bituminoso, en este caso cemento asfáltico modificado con polímeros, los cuales serán tomados en cuenta en relación al 414 -13 del Invias.

²¹ INVIAS. Art 400-13. Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos, 2013, p-2.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

El diseño de estas mezclas se realiza a partir de probetas cilíndricas tipo Marshall como lo indica La norma INV 148-13 donde se modelan a partir de un diámetro de 4" (102 mm) y una altura nominal de 2 ½" (63,5mm), las cuales se someten a un proceso de curado en un horno o en un baño de agua, posteriormente se somete a la prensa Marshall bajo unas condiciones normalizadas y se procede a determinar su estabilidad, deformación, análisis de densidad y vacíos.²²

La temperatura de mezcla y compactación dependerán de las características del ligante bituminoso que se use. La temperatura depende de que el material creado brinde quede con una adecuada envolvente sin que se produzcan escurrimientos de ligantes. Para que se tenga un criterio base respecto a las temperaturas usadas según su viscosidad se podrán tomar algunas consideraciones establecidas en la INV E148-13.


Se considera varios aspectos, uno de los más importantes en las mezclas porosas o drenantes es el contenido de vacíos con aire de acuerdo con la Norma INV 736 E, donde se especifican que no deberán ser inferiores a veinte por ciento (20 %), ni mayores de veinticinco por ciento (25 %), esto con el fin de permitir la filtración del agua hacia las partes laterales de la calzada²³. Por tal motivo también es necesario realizar ensayos de permeabilidad, más específicamente el ensayo de infiltración mediante permeámetro LCS INV E 796 -14 el cual se fundamenta en la medición del tiempo en que se en pasar un volumen de agua a través de la capa asfálticas drenante bajo condiciones específicas Sin embargo tan bien es necesario la realización de ensayos de adherencia que permitan observar el comportamiento del agregado en contacto con la ligadura al efecto de perdida por abrasión en el ensayo cántabro.

ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN EL AREA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS DRENANTES.

A lo largo de los años se han hecho diversos estudios en cuanto al diseño de mezclas asfálticas modificadas con el fin de estudiar el comportamiento de estas ante los factores externos, como las cargas a las que se ven sometidas y las condiciones ambientales que afectan su capacidad de respuesta ante estas solicitudes. Diversos autores han realizado investigaciones con el fin de realizar esta manera analizar distintos parámetros de diseño que permitan establecer si la mezcla es óptima para ser usada en una estructura de pavimento que brinde seguridad y confort al usuario.

²² INVIAS, sección 700 Materiales y Mezclas Asfálticas y Prospección de pavimentos., E-748 Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando equipo Marshall, 2013 p1-p3

²³ INVIAS, Capítulo 4, Pavimentos Asfálticos, Artículo 453 -13 Mezclas Drenantes, Colombia. 2013

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En este documento se expondrán las distintas investigaciones que se hicieron en cuanto a este tema, enfatizando en la metodología usada y los resultados que arrojaron dichas investigaciones.


Cuando se hace una investigación en cuanto a mezclas asfálticas modificadas se busca generar un mejoramiento a las propiedades mecánicas del asfalto, sin embargo es posible obtener un beneficio extra, mitigando el impacto ambiental, reutilizando materiales de desecho no biodegradables que generan un alto de grado de contaminación, este es el caso de un estudio publicado en la revista Épsilon, de la Universidad de La Salle donde Figueroa, Sánchez y Reyes ²⁴ utilizaron residuos de llanta triturada y poliestireno como modificador de una mezcla asfáltica. La metodología que usaron se basó en una modificación a 135 y 170°C, implementando un porcentaje del 1% de poliestireno y variando el porcentaje de llanta triturada entre el 12% y el 18%. De acuerdo a los ensayos realizado a las probetas de asfalto modificado, determinaron que la mezcla que contenía llanta triturada con poliestireno presentaba valores muy bajos de ductilidad, es decir era un material con alto grado de rigidez y baja susceptibilidad a las deformaciones plásticas; mientras que las probetas que solo contenían el 1% de poliestireno registraron valores en el ductilómetro muy similares a las del asfalto convencional, por lo que se concluye que las mezclas modificadas con poliestireno son materiales dúctiles que permiten controlar la fatiga y el fisura miento de los pavimentos.

EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE OGFC QUE CONTIENEN FIBRA DE CELULOSA

Las mezclas asfálticas porosas o drenantes son mezclas para condiciones especiales que se utilizan para mejorar la fricción, reducir el hidro planeo, reducir las salpicaduras y el rociado. Mediante este estudio los autores evaluaron e comportamiento al modificar el asfalto con fibras de celulosa para lo cual se realizaron pruebas en campo y laboratorios, cada ensayo tuvo como fin la comparación de las fibras de celulosa vs las fibras minerales

En muestras de OGFC (Option Graded Friction Course) compactadas en laboratorio se diseñaron las probetas en base al procedimiento (GDOT) “The Georgia Departament of transportation” el proceso implico ensayos de compactación de 25 golpes por cara de un martillo Marshall, se realizaron ensayos con 4 tipos diferentes de fibras: tres de celulosa y el cuarto de lana de escoria (fibra mineral).

²⁴ FIGUEROA, Ana Sofía; SÁNCHEZ, Arnulfo y REYES, Fredy. Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. Épsilon, Universidad de La Salle. N°9 41-55. Julio Diciembre 2007. Bogotá, Colombia

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Las tres muestras formadas de celulosa incluían una fibra suelta, una fibra peletizada 66/34 (66% de fibra de celulosa). y 34 por ciento de asfalto), y una fibra peletizada 80/20.

Las fibras de celulosa se añadieron a las mezclas de OGFC a una tasa de dosificación del 0.3% basadas en la masa total de la mezcla, mientras que el mineral, La fibra se introdujo a una tasa de dosificación del 0,4 % de la masa total de la mezcla. La diferencia en La tasa de dosificación entre los dos tipos de fibra es el resultado de diferencias en la gravedad específica.

Posterior a esto se efectuaron 4 ensayos de laboratorio los cuales se describen a continuación. La primera utilizó una prueba para cuantificar la cantidad del agua se absorbe en mezclas de OGFC que contienen los cuatro tipos de fibra. Esta prueba fue realizada permitiendo que las mezclas de OGFC compactadas se empapen en un baño de agua a 60 ° C (140 ° F) durante tres días, esta metodología de prueba, fue seleccionado para evaluar cuánto tiempo se retendría el agua en las muestras de OGFC que contienen varios tipos de fibra. Se probaron tres réplicas de cada mezcla.

Posteriormente estos ensayos el autor logra determinar que el comportamiento en campo que era la finalidad del estudio donde analiza un mejor comportamiento en cuanto a permeabilidad respecto a sustancias normalmente utilizadas.


ESTABILIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES MEDIANTE LA INCLUSION DE FIBRAS DE VIDRIO Y METÁLICAS

La realización de este estudio consistió en determinar las características mecánicas de las mezclas asfálticas drenantes mediante el empleo de fibras de vidrio y fibras metálicas, y mostrar el efecto que producen las fibras en la permeabilidad de la mezcla.

La determinación de los parámetros y criterios que se usaron para la investigación fueron los de la American Society for Testing and Materials. (ASTM)

La metodología adoptada por el autor consiste en realizar 5 diseños variando el contenido de asfalto los cuales detalla de la siguiente manera:

- 1) diseño con 2.5 % de asfalto 90% de piedra 10 % de cisco.
- 2) diseño con 3.0 % de asfalto 90% de piedra 10 % de cisco.
- 3) diseño con 3,5 % de asfalto 90% de piedra 10 % de cisco.
- 4) diseño con 4,0 % de asfalto 90% de piedra 10 % de cisco.
- 5) diseño con 4.5 % de asfalto 90% de piedra 10 % de cisco.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Cada diseño fue sometido tanto a pruebas mecánicas como hidráulicas, posteriormente se obtuvo el contenido óptimo de ligante asfáltico y se procedió a agregar las fibras a usar en el diseño patrón óptimo para mejorar las características mecánicas sin afectar las características hidráulicas; se usaron 6 diseños de los cuales 3 contenían fibra de vidrio y los otros 3 fibra metálica

Para mejorar su resistencia mecánica se usaron los siguientes porcentajes 0,1 % del peso del ligante, 0,2 % del peso del ligante, 0,3 % del peso del ligante.

Finalmente, los resultados arrojan que porcentaje de vacíos de una muestra común realizada con polímeros convencionales no varían respecto al uso de este tipo de fibras.


Como conclusión final la fibra ayudo a mejorar el comportamiento mecánico, la fibra de vidrio presento un aumento considerable de un 7,34% respecto a una mezcla drenante común, mientras que la fibra metálica obtuvo un aumento del 6,45%.

Otro estudio que se realizó en cuanto a mezclas modificadas con caucho de llantas fue el que llevaron a cabo Hugo Rondón, Yennifer Molano y Angélica Tenjo²⁵ donde evaluaron la influencia de la temperatura en la compactación de las mezclas asfálticas modificadas con GCR (Granulo de caucho reciclado), donde fueron variando el porcentaje del modificador entre el 10% y el 20%, las briquetas de mezcla asfáltica convencional y modificada fueron compactadas disminuyendo la temperatura 10°C hasta alcanzar una disminución de 30°C en relación a la temperatura de referencia (150°C). Los resultados que arrojó dicha investigación fue una reducción de la resistencia mecánica (entre el 20% y el 34%) con respecto a la disminución de la temperatura en las mezclas asfálticas convencionales, mientras que las mezclas modificadas con grano de llanta reciclada presentaron una reducción promedio de la resistencia mecánica equivalente al 10%.

Otra investigación que se realizó con mezclas modificadas, fue un estudio que se hizo en Nicaragua específicamente en la Universidad de San Carlos de Guatemala,²⁶ donde usaron cemento puzolánico tipo I como filler para modificar la mezcla asfáltica. Los investigadores usaron dos tipos de diseño: una mezcla asfáltica tradicional y otra mezcla donde sustituían el relleno mineral por cemento puzolánico tipo I.

²⁵ RONDÓN, Hugo; MOLANO, Yennifer y TENJO, Angélica. Influencia de la temperatura de compactación sobre la resistencia bajo carga monotónica de mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho reciclado de llantas. Revista Tecno Lógicas N.º 29. Julio Diciembre de 2012.

²⁶ LOPEZ, Herbert. Uso del cemento puzolánico tipo I (PM) como filler para modificar mezclas asfálticas, en caliente por medio del diseño marshall. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de ingeniería Civil. Guatemala. Noviembre de 207.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Ambos tipos de mezclas fueron sometidas a varios ensayos (Gravedad específica bulk, gravedad específica teórica máxima, porcentaje de vacíos – densidad y la prueba de estabilidad – flujo Marshall) con el fin de hacer una comparación de su comportamiento y de esta manera analizar los resultados para poder establecer si la mezcla modificada presentaba mejores propiedades en relación a la convencional.

Como resultado de la investigación concluyeron en que la mezcla asfáltica modificada con cemento, no cumplió con algunos parámetros como el porcentaje de vacíos, debido a que el cemento es más pesado con respecto al filler de la granulometría propuesta en la mezcla tradicional, lo que implica una disminución del volumen en la relación de finos y bitumen. Además, las mezclas modificadas presentaron una menor resistencia a la carga debido a la baja relación que se presenta entre el filler utilizado en la investigación y el cemento asfáltico, lo cual indica una mayor cantidad de vacíos.


Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia realizó una comparación entre una mezcla asfáltica drenante convencional con cemento CA 60-70 y una mezcla drenante con el mismo tipo de cemento asfáltico modificada con GCR y fibra acrílica Kaltex. La investigación realizada por Yung, Yee ²⁷ se basó en realizar tres tipos de diseños:

1. Mezclas drenantes convencionales.
2. Mezclas drenantes modificadas con GCR.
3. Mezclas drenantes modificadas con fibra acrílica.

Los ensayos que se realizaron para medir los parámetros de los tres tipos de mezclas fueron:

- Viscosidad rotacional.
- Penetración.
- Ductilidad.
- Punto de ignición.
- Punto de ablandamiento.
- Ensayo cántabro.

²⁷ YUNG, Yee. Caracterización, diseño y verificación de una mezcla asfáltica drenante en caliente modificada con grano de llanta triturado y fibra Kaltex. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. Departamento de Ingeniería Civil. 2013

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Como resultado de la investigación se concluyó que los aditivos utilizados para modificar el cemento asfáltico mejoraron la viscosidad del ligante aumentando la cohesión entre el cemento asfáltico y los agregados pétreos, además brindaron una mayor rigidez al asfalto lo que permitió que las probetas tuvieran una mayor resistencia al desgaste en el ensayo cántabro.

Después de analizar todos los resultados de los distintos ensayos que se hicieron, Yung, Yee definió dos fórmulas de trabajo para realizar una mezcla asfáltica drenante modificada que tuviera un comportamiento óptimo ante los distintos factores que afectan la capa asfáltica de un pavimento flexible:


Tabla 2. Fórmulas de trabajo para el diseño de una mezcla asfáltica modificada drenante.

FORMULA DE TRABAJO I	CA 60-70 MODIFICADO CON GCR	% Material pétreo = 95,5% %CA + GCR = 4,5% % GCR/CA = 17% °T mezcla = 170°C °T compactación = 170°C
FORMULA DE TRABAJO II	CA 60-70 MODIFICADO CON FIBRA ACRÍLICA	% Material pétreo = 95,5% %CA + FIBRA = 4,5% % FIBRA/CA= 0,1% °T mezcla= 160°C °T compactación = 160°C

Fuente: Caracterización, diseño y verificación de una mezcla asfáltica drenante en caliente modificada con grano de llanta triturado y fibra Kaltex.

Otro estudio realizado en cuanto al comportamiento de mezclas asfálticas modificadas fue uno realizado en Polonia por Piotr Radziszewski²⁸ donde se estudió la resistencia de 4 tipos de mezclas distintas:

²⁸ RADZISZEWSKI, Piotr. Modified asphalts mixtures resistance to permanent deformations. Bialystok Technical University. Wiejska Street 45A, 15-351 Bialystok, Poland. Journal of Civil Engineering and management. 2007. Vol. XIII. No 4, 307-315.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

- Mezcla asfáltica SMA (Desarrolla en Alemania).
- Mezcla asfáltica MNU.
- Mezcla Superpave (Utilizada en Estados Unidos).
- Mezclas asfálticas porosas con porcentajes de vacíos de 15% y 20%.

Las mezclas porosas y las MNU fueron modificadas con elastómeros, plastómeros y caucho fino. Con el fin de obtener resultados que se asemejaran más al comportamiento de las capas asfálticas “IN SITU”, las muestras de laboratorio se hicieron mediante compactación de losas.

Los resultados que arroja esta investigación permiten observar que los asfaltos modificados con caucho fino y los ligantes modificados con el 7% de polímeros, presentaron la mayor resistencia a las deformaciones permanentes después de un envejecimiento prolongado en laboratorio. Las mezclas realizadas por el método del Superpave y las SMA también presentaron una considerable resistencia a las deformaciones permanentes, por lo que se puede concluir que el tipo de mezcla usado y el aglutinante influyen considerablemente en las propiedades mecánicas de una capa asfáltica en un pavimento flexible.²⁹

7.3 MARCO CONCEPTUAL.

Concreto poroso: Material compuesto por una matriz cementicia y un agregado como refuerzo, con la principal característica: permitir la infiltración de agua a través de su superficie y proporcionar un almacenamiento temporal, para su posterior disposición.³⁰

Densidad aparente: Es la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros saturables y no saturables.³¹


Densidad bulk: Densidad de una masa de agregado incorporando entre los espacios de vacíos dentro de las partículas de agregado.³²

²⁹ Botasso, H. G., Rebollo, O., Cuattrocchio, A., & Soengas, C. (2012). Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura. *Infraestructura Vial* Vol. 10 Núm. 20 2012.

³⁰ RÓMEL SOLÍS, C. A. R. C. A. Ñ. O., & MORENO, E. I. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 21(3), 57-68.

³¹ SALAMANCA, A., & SADEGHIAN, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.

³² Miller, D. E., & Burke, D. W. (1974). Influence of soil bulk density and water potential on *Fusarium* root rot of beans. *Phytopathology*, 64, 526-529.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	-----------------------------

Fracción: Porción de agregado que ha sido separado por el tamizado.

Grava triturada: Piedra redondeada proveniente de los ríos que se tritura para elaborar partículas de forma angular.

Infiltración: Movimiento de un fluido a través de la superficie a un cuerpo poroso.³³

Módulo de rotura: Característica que mide el esfuerzo a flexotracción del concreto mediante vigas de sección cuadrada de 150x150 y 500 mm de longitud, para medir los esfuerzos de tracción en placas de concretos usados para pavimentos.

Módulo de elasticidad: Parámetro característico de cada material que señala la relación en los aumentos de tensión aplicados en el ensayo de tracción y los incrementos de la deformación longitudinal unitaria.³⁴

Permeabilidad: Es la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo.

Porosidad: Porción de un material que no es sólida.

Relación agua/cemento: Cantidad neta de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento, para un conjunto dado de materiales y condiciones para la elaboración de un concreto.³⁵

Resistencia a la compresión simple: Característica mecánica principal del concreto, expresada en términos de esfuerzo, en unidades de MPa, psi o kg/cm², evaluada mediante pruebas mecánicas destructivas como el estallido de especímenes como cilindros, cubos o prismas, o no destructivas.³⁶

Tamaño único: Estrecho rango único de tamaño, gradación abierta.


Microfibras: Normalmente son fibras de plástico, polipropileno, polietileno nylon, que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante la construcción. Las longitudes de las fibras de multifilamento oscilan entre los 12 y los 75 mm.

³³ Rojas, Á. V. P. (2012). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. Ingenium, 13(26), 116-125.

³⁴ Castro, J., de Solminihac, H., Videla, C., & Fernández, B. (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. Revista ingeniería de construcción, 24(3), 271-284.

³⁵ Valcuende, M., Parra, C., & Benlloch, J. V. (2005). Permeabilidad, porosidad y resistencia a compresión de hormigones autocompactables. Materiales de construcción, (280), 17-26.

³⁶ Saroza, B., Rodríguez, M. A., Menéndez, J. M., & Barroso, I. J. (2008). Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. Informes de la Construcción, 60(511), 41-47.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Macrofibras: Generalmente son de materiales como acero, vidrio, materiales sintéticos o naturales, los cuales se utilizan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Las fibras actúan como malla electro soldada y varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Entre los beneficios del uso de concreto reforzado con fibras -CRF- se encuentran el incremento de la resistencia al impacto y a la fatiga. Su diámetro oscila entre los 0.25 mm y 1.5 mm con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm.³⁷

7.4 MARCO NORMATIVO

Tabla 3. Consulta de Normativa utilizada en el diseño de mezclas asfálticas porosas.

Plan de prueba	Estándar Colombiana	US Estándar	EU Estándar	Réplicas
Vacíos totales de aire en la mezcla.	INV. E-736-13	AASHTO T 269		6
vacíos interconectados en la mezcla		ASTM D 7063-05		3
Pérdida cántabro prueba seca	INV. E-760-13	AASHTO T 96	EN-12697-17	3
Perdidas cántabro prueba húmeda	INV.E -760-14		NLT 352/92	3
Prueba de drenaje			EN 12697-18	2


Fuente 1: Tutor externo.

Medición del desgaste de mezcla asfáltica porosa por medio ensayo cántabro.

UNE – EN 12697-17

En el desarrollo del proyecto se determina el impacto de fibras Nylon y polipropileno en la mezcla asfáltica, midiendo la pérdida de partículas en peso de cada una de las briquetas sometidas a ensayo cántabro utilizando la máquina de los ángeles.

³⁷ Vera, F. L., Cortes, H. A. M., Murcia, C. V., & Galvis, I. C. (2014). Modificación superficial de micro fibras de celulosa obtenidas a partir de bagazo de caña de azúcar usando silanización. Informador Técnico, 78(2), 106-114.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

En el procedimiento es utilizada la máquina de los ángeles la cual desgastara cada una de las briquetas, el proceso se lleva a cabo cuando la maquina realiza 300 vueltas a una velocidad de 30 – 33 revoluciones por minutos, tomando así 9.9 minutos por cada briqueta.

En el ensayo se determina la cantidad de partículas perdidas tras someter cada una de las 90 muestras a ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles, aplicando así la ecuación para determinar perdidas:

Imagen 3. Módulo de calibración para máquina de los ángeles según normativa.




Fuente : 1 Velasco – Camargo.

Imagen 4. Máquina de los Ángeles.



Fuente: Velasco - Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO PÉTREO.

Debido a que el proyecto está centrado en determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas porosa ante el desgaste y la abrasión por medio de la adición de fibras, se realiza la búsqueda del material a utilizar ya caracterizado.

Se realiza la consulta previa a docentes de la universidad sobre la procedencia del agregado pétreo y betún que se utilizan en el laboratorio de ingeniería civil. De esta manera se identifica a la empresa CONCRESCOL S.A como proveedor del material.

CONCRESCOL ofrece el material debidamente caracterizado con las especificaciones técnicas que dan cumplimiento a la normativa Colombiana Invias según los siguientes ensayos:

Invias - I.N.V - E 133.

Ensayo de agregados pétreos equivalente de arena.

En desarrollo de este ensayo se determina la cantidad relativa en el contenido de polvo fino o material arcilloso en los suelos o agregados finos. Este procedimiento es útil para evaluar una correlación rápida en campo.

Tabla 4. Contenido de arena.


ARENA NATURAL			
Prueba	No 1.	No 2.	No 3.
Lectura de Arcilla (A)	4	4,1	4,2
Lectura de Arcilla (B)	3,6	3,8	3,9
Equivalente de Arena (B/A%)	90	93	93
Promedio (%)	92		

Fuente: ficha tecnica – Concre scol.

Tabla 5. Agregados finos.

COMBINACION AGRAGADOS FINOS			
Prueba	No 1.	No 2.	No 3.
Lectura de Arcilla (A)	4,2	4,3	4,1
Lectura de Arcilla (B)	3,7	3,8	3,5
Equivalente de Arena (B/A%)	88	88	85
Promedio (%)	87		

Fuente: ficha tecnica – Concre scol.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Invías - I.N.V - E 227.

Ensayo agregado pétreos porcentaje cara fracturadas.

Tabla 6. Combinación agregado grueso 3/4 ".


TAMICES		PESO MATERIAL	PESO PARTICULAS	% PARTICULAS	% RETENIDO	CARAS
Pasa	Retiene	Fracción A (gramos)	Fracturadas B (gramos)	Fracturadas C (gramos)	Original D (gramos)	Fracturadas E (C*D)
1 1/2"	1"	-	-	-	-	-
1"	3/4"	1140	1020	89,5	47,7	4268
3/4"	1/2"	1174	1075	91,6	50,4	4615
1/2"	3/8"	0	0	0	0	0
TOTALES :				181	98,1	8883
TOTAL PONDERADO:						91%

Fuente: ficha técnica – Concrecol.

Tabla 7. Combinación Agregado Fino 1/2'.

TAMICES		PESO MATERIAL	PESO PARTICULAS	% PARTICULAS	% RETENIDO	CARAS
Pasa	Retiene	Fracción A (gramos)	Fracturadas B (gramos)	Fracturadas C (gramos)	Original D (gramos)	Fracturadas E (C*D)
1 1/2"	1"	-	-	-	-	-
1"	3/4"	-	-	-	-	-
3/4"	1/2"	1239	1151	93,7	7,5	702,8
1/2"	3/8"	374	299	79,9	19,4	1551
TOTALES :				173,7	26,9	2253,7
TOTAL PONDERADO:						84%

Fuente: ficha técnica – Concrecol.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Invías - I.N.V - E 230.

Ensayo agregado pétreo, índice de aplanamiento y alargamiento.

Tabla 8. Índice de aplanamiento.


TAMICES		PESO MATERIAL	PESO PARTÍCULAS	% PARTÍCULAS	% RETENIDO	PARTÍCULAS
Pasa	retiene	inicial A	aplanada (B)	aplanada (C)	original (D)	aplanada $E=(C*D)$
1 1/2	1"	-	-	-	-	-
1"	3/4"	1140,0	123,0	10,8	12,3	133
3/4"	1/2"	1174,0	135,0	11,5	17,2	198
1/2"	3/8"	0,0	45,0	0	8,0	0
TOTALES:				22,3	37,5	330
TOTAL PONDERADO =						9%

Fuente: ficha técnica – Congrescol.

Tabla 9. Índice de alargamiento.

TAMICES		PESO MATERIAL	PESO PARTÍCULAS	% PARTÍCULAS	% RETENIDO	PARTÍCULAS
pasa	retiene	inicia (A)	alargadas (B)	alargadas(C)	origina (D)	alargadas $E=(C*D)$
1 1/2	1"					
1"	3/4"	1140,0	108,0	9,5	9,6	90,9
3/4"	1/2"	1174,0	112,0	9,5	9,6	91,6
1/2"	3/8"	0,0	42,0	0	9,6	0
TOTALES:				19	32,8	182,5
TOTAL PONDERADO =						6%

Fuente: ficha técnica – Congrescol.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Invías - I.N.V - E 213 – 214.

Granulometría de agregados pétreos.

Tabla 10. Características Arena trituración.


Peso Totales de la muestra (g)	720,4
peso Unitario suelo (g/cm ³)	1,473
peso específico aparente (g/cm ³)	2,56
cont. De materia orgánica	1
solidez. Sulfato de sodio (%)	11,9
Equivalente de arena (%)	82%

Fuente: ficha técnica – Concescol.

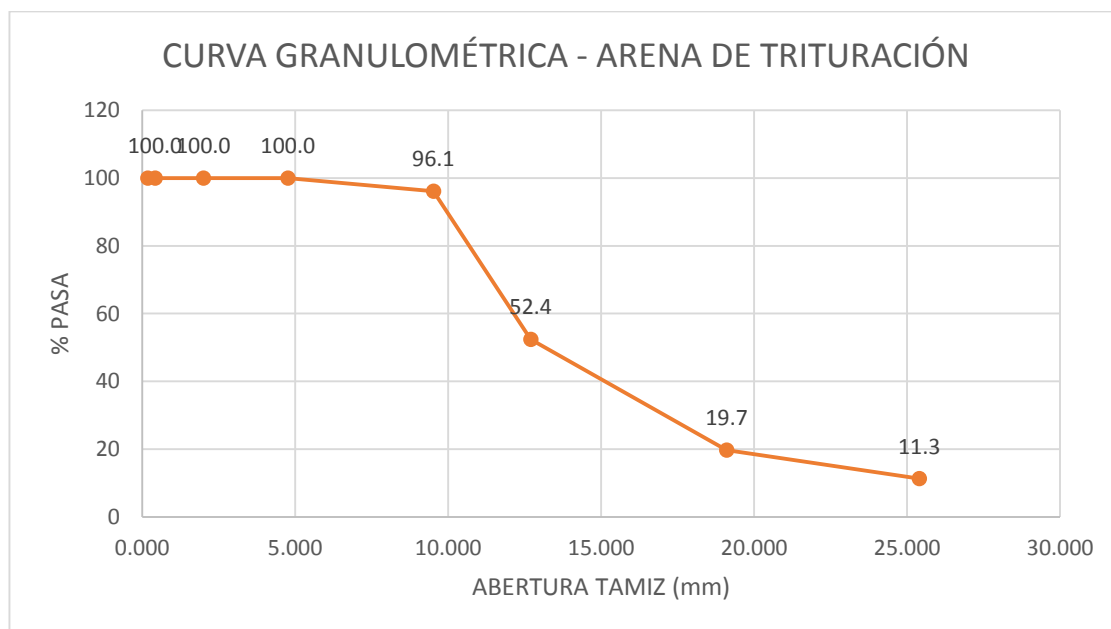
Tabla: 11 Características Arena trituración

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
PESO INICIAL (G) 720,4					
ABERTURAS		PESO RETENIDO	%	% RETENIDO	%
(mm)	(pulg)	(g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASA
25,400	1	0,0	0,0	0,0	100,0
19,100	3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
12,700	1/2"	0,0	0,0	0,0	100,0
9,520	3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0
4,760	no.4	28,1	3,9	3,9	96,1
2,000	no.10	315	43,7	47,6	52,4
0,420	no.40	235,4	32,7	80,3	19,7
0,177	no.80	60,7	8,4	88,7	11,3
0,074	no.200	46,1	6,4	95,1	4,9
fondo		35,1	4,9	100,0	0,0

Fuente: ficha técnica – Concescol.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Grafica 1. Curva granulométrica para arena de trituración.




Fuente: ficha técnica – Concrecol.

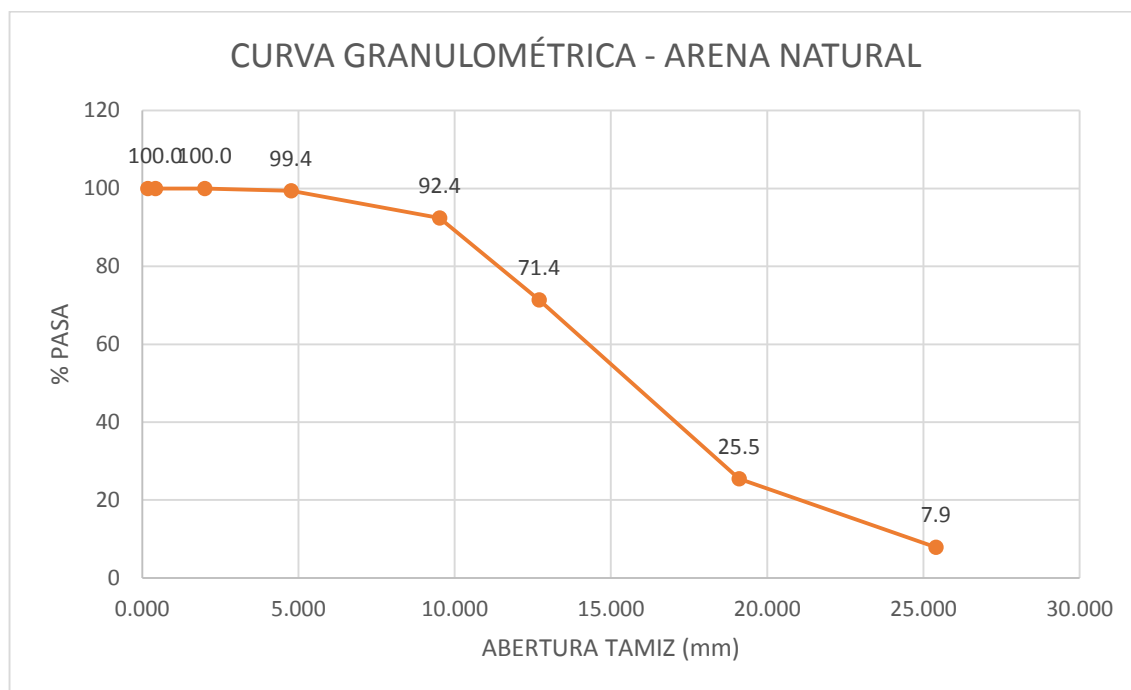
Tabla 12. Características Arena natural.

Peso Totales de la muestra (g)	488
peso Unitario suelo (g/cm ³)	1,473
peso específico aparente (g/cm ³)	2,59
cont. De materia orgánica	2,0
solidez. Sulfato de sodio (%)	11,90
Equivalente de arena (%)	92.0

Fuente: ficha técnica – Concrecol.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Grafica 2. Curva granulométrica para arena natural.




Fuente: ficha técnica – Concrecol.

Tabla 12. Características Arena natural.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
PESO INICIAL (G) 487,8					
ABERTURAS		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
(mm)	(pulg)				
25,400	1	0,0	0,0	0,0	100,0
19,100	3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
12,700	1/2"	0,0	0,0	0,0	100,0
9,520	3/8"	2,7	0,6	0,6	99,4
4,760	NO.4	31,6	7,1	7,6	92,4
2,000	NO.10	102,1	20,9	28,6	71,4
0,420	NO.40	224,1	45,9	74,6	25,5
0,177	NO.80	85,7	17,6	92,1	7,9
0,074	NO.200	28,9	5,9	98	2
FONDO		9,7	2,0	100,0	0,0

Fuente: ficha técnica – Concrecol.

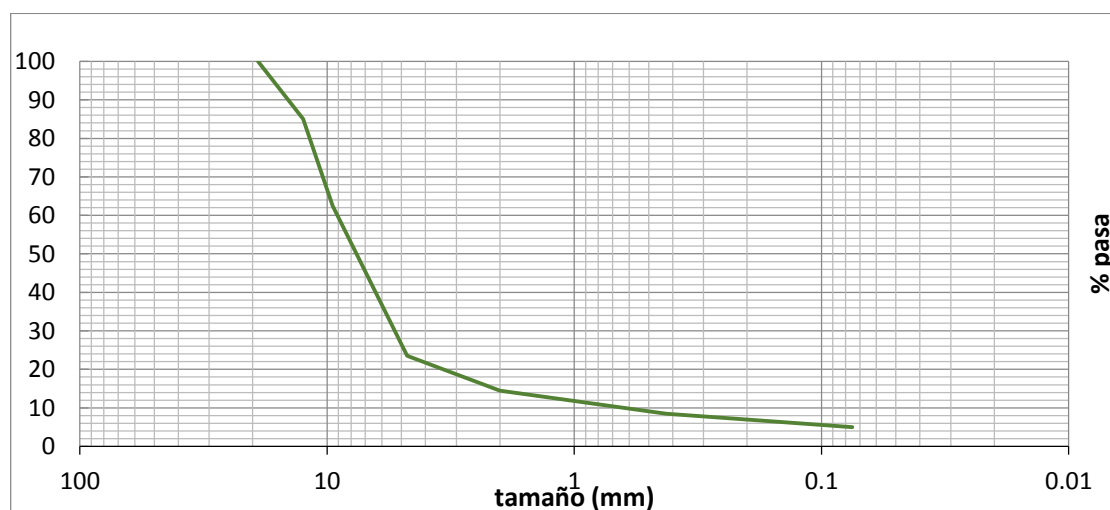
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Invías - I.N.V - E 760 - 07

La normativa se aplica en el procedimiento para fabricación de mezclas asfálticas porosas con una granulometría abierta, cuyo tamaño máximo menor a 25mm.

En el proyecto se da cumplimiento al utilizar una granulometría ya establecida por el tutor con tamaño máximo de partículas de ½" o 12.7 milímetros.

Grafica 3. Curva granulométrica del agregado a utilizar.




Fuente: Carlos J. Slebi.

Tabla 13. Dosificación de agregado pétreo según granulometría.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
PESO INICIAL (g) 1000					
ABERTURA TAMIZ		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
(mm)	(pulg)				
19	3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
12,5	1/2"	150,0	15,0	15,0	85,0
9,5	3/8"	225,0	23,0	38,0	63,0
4,75	4	390,0	39,0	77,0	24,0
2	10	90	9	86	15
0,425	40	60	6	92	9
0,075	200	35	4	95	5
Fondo		50	5	100	0

Fuente: Carlos J. Slebi,

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

8 METODOLOGÍA

Inicialmente el proyecto estaba destinado a determinar el impacto en la resistencia a la abrasión y desgaste que tienen las fibras de Nylon en las mezclas asfálticas porosas, se tomó la decisión de trabajar con una segunda fibra que resulto ser de material polipropileno con el fin de ampliar el alcance y determinar no solo la influencia de la cantidad de fibra presente en un mezcla asfáltica, sino el tipo de fibra que se adicione, para así poder determinar el material más adecuado y su dosificación óptima para mejorar la resistencia.

En el desarrollo del proyecto se plantea el diseño de 15 probetas de mezcla asfáltica porosa y cada una de esta se replica tres veces para ensayo de cántabro seco y tres veces ensayo cántabro húmedo para obtener un total de 90 briquetas realizadas con el fin de obtener un valor promedio en los resultados de pérdida de partículas por abrasión.

8.1 SELECCIÓN DE FIBRA


El estudio llevado a cabo en la universidad de Cantabria sobre el positivo impacto de las fibras en la adición de mezclas asfálticas tras ensayos de resistencia a la compresión, permite guiar el proyecto al uso de fibras en composición de monofilamentos similares al espesor de un cabello humano y de longitudes menores a tres pulgadas según las recomendaciones de uso de fibras.³⁸

Tabla 14. propiedades de las fibras utilizadas en mezclas HMA.

Características de las fibras					
Fibras	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Densidad (g/cm ³)	contenido de fibras en peso	Resistencia a la tracción (MPa)
Poliéster	6	0,02		0,30%	531
Amianto	5,5	n/A un		0,30%	40
Coco			1,18	0,30%	118
Polipropileno	6	0,04	0,91	1,00%	500
Nylon	12	0,023	1,14	1,00%	800

Fuente: Artículo de revisión -Carlos J. Slebi.

³⁸ Slebi Acevedo, Lastra Gonzales, Pascual Muños., & Lastre Fresno, C. O. (2017). Rendimiento mecánico de las fibras en las mezclas de asfalto en caliente HMA.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

La tabla 14 presente en el artículo de revisión de las principales fibras que se utilizan en la adición de mezclas asfálticas se encuentra la fibra Nylon y Polipropileno, determinado la resistencia a la tracción superior a la fibra de poliéster, amianto y coco. En el desarrollo del proyecto también se tiene en cuenta el contenido recomendable para su debido uso en las mezclas asfálticas.

En la búsqueda de un proveedor de fibra se encuentra la empresa TOXEMENT, debido a que en sus productos de aditivos se encuentra la micro fibra Nylon y Polipropileno en las dimensiones adecuadas en presentación de monofilamentos y longitud menor 2 pulgadas según la recomendación para la adición en la mezcla asfáltica. El proveedor en productos ofrece una descripción principal de cada material.

TOXEMENT en su línea de aditivos describe el nombre de las micro fibras a utilizar en el proyecto como:

- Fibra Nylon (Ny) - Fiberstrand N
- Fibra Polipropileno (PP) - Fiberstrand 150

Tabla 15. propiedades de las fibras de proveedor TOXEMENT.

Fibras	Nylon micro fibras (Ny)	Polipropileno micro fibras (PP)
Tipo de fibra	Monofilamento	Monofilamento
Gravedad específica	1,16	0,91
Punto de fusión (°c)	260	160
Longitud (mm)	19	19
Absorción de agua	-	-
Resistencia a la tracción (MPa)	800	500

Fuente: Ficha técnica de productos toxement.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

Imagen 5. Fibras de Nylon y polipropileno a utilizar



Fuente: Autores.

En la imagen se tiene la fibra Nylon en el costado izquierdo y la fibra polipropileno en el costado derecho, la fibra nylon posee una apariencia más brillante comparada con la fibra de polipropileno

PRINCIPALES FACTORES EN EL DISEÑO DE LAS MUESTRAS:

- Peso de agregado pétreo: 1000g.
- Cantidad de betún convencional 60/70 en porcentajes: 4.4%, 4.8% y 5.2% del peso del agregado.
- Tipo de diseño Patrón: No posee adición de fibra.
- Tipo de diseño Modificado: Posee adición de fibra.
- Tipo de fibra: Nylon (Ny) – Polipropileno (PP).
- Cantidad de fibra en porcentajes: 0.03% y 0.06% del peso del agregado.


DISEÑOS PATRÓN:

Para la elaboración de la matriz de datos se designan los diseños de referencia como PATRON a las mezclas que no poseen la adición de fibras aumentando el contenido de betún, estos diseños se plantean como:

PATRON – 1: Contenido de betún en 4.4% del peso del agregado (1000g).

PATRON – 7: Contenido de betún del 4.8% del peso del agregado (1000g).

PATRON – 13: Contenido de betún del 5.2% del peso del agregado (1000g).

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


8.2 Matriz de trabajo

En la tabla 16 se plantea la matriz de trabajo para ensayo cántabro en condición seca, esta matriz resulta útil para la recopilación de datos de los tipos de diseño patrón, los modificados con adición de fibra, cantidad de betún, tipo de fibra y peso de la mezcla en cada diseño.

Tabla 16. Matriz Cántabro Seco.

MATRIZ CANTABRO SECO						
DISEÑO	BETUN (%)	FIBRA %	TIPO DE FIBRA	BTUN (g)	Agregados (g)	Peso mezcla (g)
PATRON - 1	4,4	0	-	46	1000	1046
3	4,4	0,03	Ny	46	1000	1046
4	4,4	0,03	PP	46	1000	1046
5	4,4	0,06	Ny	46	1000	1046
6	4,4	0,06	PP	46	1000	1046
PATRON - 7	4,8	0	-	50,4	1000	1050,4
9	4,8	0,03	Ny	50,4	1000	1050,4
10	4,8	0,03	PP	50,4	1000	1050,4
11	4,8	0,06	Ny	50,4	1000	1050,4
12	4,8	0,06	PP	50,4	1000	1050,4
PATRON- 13	5,2	0	-	54,9	1000	1054,9
15	5,2	0,03	Ny	54,9	1000	1054,9
16	5,2	0,03	PP	54,9	1000	1054,9
17	5,2	0,06	Ny	54,9	1000	1054,9
18	5,2	0,06	PP	54,9	1000	1054,9

Fuente: Carlos J Slebi.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En la tabla 16 se plantea la matriz de trabajo para ensayo cántabro en condición seca, esta matriz resulta útil para la recopilación de datos de los tipos de diseño patrón, los modificados con adición de fibra, cantidad de betún, tipo de fibra y peso de la mezcla en cada diseño.

La matriz presente en la tabla 11 permite tener una guía organizada de cada diseño con su correspondiente contenido:

Cantidad de betún 60/70:


- 4.4% de betún para diseños: 1, 3, 4, 5, 6.
- 4.8% de betún para diseños: 7, 9, 10, 11.
- 5.2% de betún para diseños: 13, 15, 16, 17.

Cantidad de Fibra Nylon (Ny):

- 0.03% de fibra para diseños: 3, 9, 15.
- 0.06% de fibra para diseños: 5, 11, 17.

Cantidad de Fibra Polipropileno (PP):

- 0.03% de fibra para diseños: 4, 10, 16.
- 0.06% de fibra para diseños: 6, 12, 18.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En la tabla 17 se plantean los 15 diseños los cuales se replican 3 veces con el fin de hallar una media en el desempeño de cada muestra, siendo un total de 45 muestras fabricadas para ensayo cántabro en condición húmeda.

Tabla 17. Matriz cántabro húmedo.

MATRIZ CANTABRO HÚMEDO						
DISEÑO	BETUN (%)	FIBRA %	TIPO DE FIBRA	BTUN (g)	Agregados (g)	peso mezcla
PATRON - 1	4,4	0	-	46	1000	1046
3	4,4	0,03	Nylon	46	1000	1046
4	4,4	0,03	PP	46	1000	1046
5	4,4	0,06	Nylon	46	1000	1046
6	4,4	0,06	PP	46	1000	1046
PATRON - 7	4,8	0	-	50,4	1000	1050,4
9	4,8	0,03	Nylon	50,4	1000	1050,4
10	4,8	0,03	PP	50,4	1000	1050,4
11	4,8	0,06	Nylon	50,4	1000	1050,4
12	4,8	0,06	PP	50,4	1000	1050,4
PATRON- 13	5,2	0	-	54,9	1000	1054,9
15	5,2	0,03	Nylon	54,9	1000	1054,9
16	5,2	0,03	PP	54,9	1000	1054,9
17	5,2	0,06	Nylon	54,9	1000	1054,9
18	5,2	0,06	PP	54,9	1000	1054,9

Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

8.3 Proceso de fabricación de cada briqueta que corresponde a determinado diseño de mezcla asfáltica.

8.3.1 Dosificación de Fibra Nylon – Polipropileno

- Cantidad de fibra Nylon y Polipropileno 0.03% equivalente a 0.32g utilizada para los diseños mezcla, según tabla 11 y 12: 3, 4, 9, 10, 15, 16.

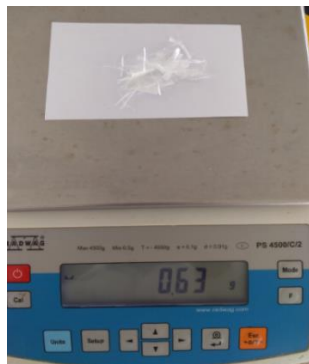
Imagen 5. Dosificación fibra 0.32g.




Fuente. Velasco – Camargo

- Cantidad de fibra Nylon y Polipropileno 0.06 % equivalente a 0.63g para los diseños: 5, 6, 11, 12, 17, 18.

Imagen 6. Dosificación 0.63g.



Fuente. Velasco Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

8.3.3 Dosificación de la granulometría:


Para todos los diseños, en cada una de las briquetas se toma un peso total en una dosificación que cumple con la siguiente distribución:

- Masa retenida en Tamiz 1/2": **150 gramos.**
- Masa retenida en Tamiz 3/8": **225 gramos.**
- Masa retenida en Tamiz #4: **390 gramos.**
- Masa retenida Tamiz #10: **90 gramos.**
- Masa retenida Tamiz #40: **60 gramos.**
- Masa retenida Tamiz #200: **35 gramos.**
- Masa retenida en el fondo de la serie de tamices: **50 gramos.**
- Masa total de agregados pétreos en mezcla asfáltica porosa: **1000 gramos.**

Imagen 7. Tamizado y dosificación.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

8.3.3 Masa total de la mezcla asfáltica porosa:

Dosificación correspondiente a 1000g de agregado para cada una de las mezclas asfálticas a fabricar, tanto para diseños patrón como mezclas con la adición de fibra.

Imagen 8. Peso total de agregado pétreo para mezcla asfáltica porosa.



Fuente: Velasco – Camargo.


8.3.4 Adición de fibra en la mezcla asfáltica porosa.

Para cada uno de los diseños correspondientes con uso de fibra en su mezcla, la fibra con su debida dosificación es adicionada en un platón en la parte inferior creando una capa uniforme de fibra Nylon o polipropileno según sea el diseño.

Imagen 9. Adición de fibra en el platón para realizar la mezcla asfáltica.



Fuente: Velasco – Camargo

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

8.3.5 Adición de agregado pétreo y fibra a la mezcla asfáltica porosa

Para los diseños que poseen fibra ya sea nylon o polipropileno, la adición de la fibra a el agregado pétreo se hace se manera para obtener una distribución uniforme de las fibras en el momento de adicionar el betún 60/70.

Imagen 10. Adición de fibra a dosificación de agrado pétreo.




Fuente: Velasco – Camargo.

En la práctica de laboratorio se dispone una sesión para dosificar los agregados pétreos ya sea para diseños patrón, y se dosifican los agregados pétreos con fibra según sea el diseño. Cada uno de los platones que contienen la debida cantidad de material teniendo en cuenta la clasificación y su debida marcación para determinar un orden en el proceso de fabricación.

Imagen 11. Ubicación de platones – dosificación.



Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

8.3.6 Temperatura del agregado antes de adicionar el betún.

Para todos los diseños tanto para muestras patrón sin fibra y diseños que contienen fibra, las dosificaciones ya realizadas se llevan a la estufa del laboratorio donde se eleva la temperatura para mejorar la interacción de los materiales con la adición de betún

Imagen 12. Aumento de temperatura en platones que contiene material de diseño.



Fuente: Velasco – Camargo.


8.3.7 Betún utilizado en el diseño de mezcla asfáltica porosa.

En el desarrollo del proyecto se utilizó un betún 60/70 convencional proveniente de CONCRESCOL, el mismo proveedor de los agregados pétreos ofreciendo un producto ya caracterizado y bajo las condiciones óptimas necesarias para iniciar la fase de fabricación de las briquetas.

Imagen 13. Betún 60/70.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

Características de Betún 60/70:

- Penetración: 61 – 60 – 60.
- Ductilidad: 118 cm.
- Punto de Ablandamiento: 44° c.
- Gravedad específica: 1.012 g/ cm³.
- Punto de Ignición: 220° c.
- Punto de llama: 231° c.

El betún es adicionado en un platón de prelación el cual es utilizado para realizar la mezcla asfáltica, en el proceso se adiciona la cantidad requerida de betún según sea el diseño a fabricar ya sea un contenido dependiendo del diseño sus cantidades son de 4.4% - 4.8% - 5.2%.

El betún llega a su punto de ablandamiento tras 10 minutos en el horno hasta llegar a una temperatura de 44°C.


Imagen 14. Adición de betún a dosificación según cada diseño.



Fuente: Camargo.

8.3.8 Preparación de mezcla asfáltica porosa.

Con todos los elementos que componen la mezcla asfáltica, se inicia la fase para incorporar todos los elementos que componen la briqueta, es donde la masa de 1000 gramos de agregado pétreo para todos los diseños, contenido de betún 60/70 en dosificaciones según corresponda al diseño y su contenido.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

Según sea la fibra ya sea de Nylon o polipropileno con su debida cantidad según sea el diseño los cuales contiene fibra se llevan a la estufa con el monitoreo contante de la temperatura.

Imagen 15. Preparación de mezcla asfáltica porosa.



Fuente: Laboratorista de pavimentos.

8.3.9 Temperatura de mezcla asfáltica porosa.


Trascurridos aproximadamente 10 minutos de mezclado se verifica continuamente la temperatura alcanzando los 150°C según la normativa que las partículas de agregado pétreo estén totalmente cubiertas con betún y la fibra se encuentre uniformemente distribuida.

El molde para realizar la compactación de la mezcla es calentado para que todos los componentes se encuentren a una temperatura adecuada para llevar a cabo el proceso de compactación.

Imagen 16. Mezcla Asfáltica - Molde de compactación.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

8.3.10 Compactación de mezcla asfáltica porosa.

La mezcla asfáltica a una temperatura de 150°C se deja reposar por aproximadamente 5 minutos, con el fin de llegar al proceso de compactación de 120°C.

Cada mezcla asfáltica recibe 50 golpes por cada cara con el equipo de compactación en un molde con dimensiones de 100mm de diámetro y una altura de 65mm según normativa europea UNE-EN 12697-17.

Imagen 17 Temperatura de mezcla.




Fuente: Velasco – Camargo.

Imagen 18. Compactación de mezcla asfáltica porosa.



Fuente: Velasco.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

8.3.11 Desencofrado de la mezcla asfáltica porosa.

La mezcla tras ser compactada con 50 golpes por cada cara, se deja reposar durante 40 minutos para desencofrar la mezcla permitiendo así la consolidación de las partículas, si la mezcla se deja por un tiempo superior a 60 minutos, el material en el interior del molde disminuye significativamente su temperatura causando que sea más difícil la extracción de la muestra.

Imagen 19. Molde dentro de equipo de compactación.




Fuente 2 Velasco – Camargo.

Cuidadosamente se retira la base del molde y con una leve presión la briqueta sale lentamente del molde dando paso a la briqueta ya fabricada:

Imagen 20. Desencofrado de la briqueta.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

8.3.12 Briqueta ya fabricada.

El proceso de fabricación se repite para cada uno de las 90 briquetas de mezcla asfáltica porosa ya sea para diseños patrón (sin contenido de fibra) o diseños con adición de fibra Nylon – Polipropileno, llevando a cabo la secuencia de actividades en la fabricación de cada briqueta.

Imagen 21. Briqueta de mezcla asfáltica porosa.

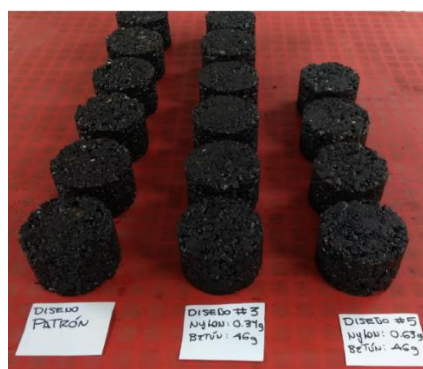


Fuente: Velasco – Camargo.


8.2.13 Rotulación de cada briqueta fabricada

Por cada sesión de laboratorio otorgada por la universidad se dispone la fabricación de 6 briquetas, las cuales desde el inicio de su dosificación de se define el diseño determinado así la cantidad de betún y cantidad de fibra ya sea de nylon o polipropileno.

Imagen 22. Rotulación de briquetas.



Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

8.4 Clasificación de las briquetas según su correspondiente diseños patrón y diseños que poseen fibra Nylon.

Se clasifican las muestras ubicando las seis unidades correspondientes a cada diseño de biqueta, tres diseños se disponen para ensayo de cántabro seco y tres diseños que se disponen para ensayos de cántabro húmedo.


En la imagen 24 se muestra seis briquetas para los diseños:

- Diseño #1 – PATRON: Betún (46g), no posee fibra.
- Diseño #3: Betún (46g), fibra Nylon (0.32 g).
- Diseño #5: Betún (46g), fibra Nylon (0.63g).

Imagen 24. Clasificación de briquetas. Diseños 1,3,5.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

En la imagen 25 se muestra seis briquetas para los diseños:

- Diseño #7 – PATRON: Betún (50.4 g), no posee fibra.
- Diseño #9: Betún (50.4 g), fibra Nylon (0.32 g).
- Diseño #11: Betún (50.4g), fibra Nylon (0.63g).

Imagen 25. Calcificación de diseños 7,9,11.



Fuente: Velasco – Camargo.


En la imagen 26 se muestra seis briquetas para los diseños diseño:

- Diseño #13 – PATRON: Betún (50.4 g), no posee fibra.
- Diseño #15: Betún (50.4 g), fibra Nylon (0.32 g).
- Diseño #17: Betún (50.4g), fibra Nylon (0.63g).

Imagen 26. Clasificación de diseños 13, 15, 17.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

En la imagen 27 se muestra seis briquetas para los diseños:

- Diseño #4: Betún (46 g), fibra Polipropileno (0.32g).
- Diseño #6: Betún (46 g), fibra Polipropileno (0.63g).
- Diseño #10: Betún (50.4g), fibra Polipropileno (0.32g).

Imagen 27. Clasificación de briquetas. Diseños 4, 6, 10.



Fuente: Velasco – Camargo.


En la imagen 28 se muestra seis briquetas para los diseños:

- Diseño #12: Betún (50.4 g), fibra Polipropileno (0.63g).
- Diseño #16: Betún (54.9 g), fibra Polipropileno (0.32g).
- Diseño #18: Betún (54.9 g), fibra Polipropileno (0.63g).

Imagen 28. clasificación de Diseños 12, 16, 18.



Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

8.6 Ensayo Cántabro

El desarrollo del proyecto llega a la fase de ensayos tomando como referencia la normativa europea para ensayo Cántabro UNE – EN 12697-17 para determinar la pérdida de partículas de una mezcla asfáltica porosa por medio de la máquina de los ángeles.

8.6.1 Peso inicial de cada briqueta.

Se toma el peso seco de cada una de las briquetas, en los resultados este peso resulta ser la masa de la briqueta inicial (M1) antes del ensayo.


Imagen 29. Peso inicial de cada briqueta.



Fuente : 3 Velasco - Camargo

8.6.2 Ensayo cántabro Seco.

Tres muestras de cada diseño se disponen para determinar la pérdida de partículas por medio del ensayo cántabro seco, donde se tiene masa inicial en cada briqueta y esta se a la máquina de los ángeles, la cual aplica 300 vueltas a 33 revoluciones por minuto.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Después de aplicadas las 300 vueltas a una velocidad de 33 revoluciones por minuto, al cabo de 9.9 minutos cada una de las briquetas resulta con una masa inferior debido al desprendimiento de partículas que causa la abrasión de la máquina. Se realiza la toma del peso obteniendo así la masa final (M2 - Cántabro) y llevando cada uno de estos datos a la matriz de datos.

Imagen 30. Muestra dentro de máquina de los ángeles.




Fuente: Velasco – Camargo.

Imagen 31. Muestra de diseño #4 sometido a cántabro seco.



Fuente : 4 Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

8.6.3 Ensayo cántabro Húmedo.

Tres muestras de cada diseño se disponen para determinar la pérdida de partículas por medio del ensayo cántabro seco húmedo, donde se tiene masa inicial en cada briqueta.

Baño de maría:

Las muestras sometidas a cántabro húmedo después de ser registrado su peso inicial (M1) se lleva a la máquina HUMBOLDT de baño de María, esta máquina puede almacenar 10 briquetas en su interior.


Las briquetas se introducen en el baño de maría a una temperatura de 60°C durante 24 horas.

Imagen 33. Máquina HUMBOLDT - Baño de María.



Fuente : 5 Velasco – Camargo.

Después del proceso de baño de María durante 24 horas a 60°C para cada briqueta sometida a ensayo cántabro Húmedo, se deja reposar la muestra durante otras 24 horas a temperatura ambiente, permitiendo que una cantidad del agua pueda fluir a través de los vacíos interconectados de la muestra.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

Transcurridas las 24 horas de secado después del baño de María de cada una de las muestras, se registra el peso (M3).

Imagen 34. Esgurrimiento de las muestras durante 24h después de baño María.




Fuente: Velasco – Camargo.

Imagen 35 Muestra de diseño #5 sometida a ensayo cántabro húmedo.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------


Después de aplicadas las 300 vueltas a una velocidad de 33 revoluciones por minuto, al cabo de 9.9 minutos cada una de las briquetas resulta con una masa inferior debido al desprendimiento de partículas que causa la abrasión de la máquina.

Se realiza la toma del peso obteniendo así la masa final (M2 - Cántabro) y llevando cada uno de estos resultados a la matriz de datos.

Imagen 36. Briqueta de diseño #13 sometido a cántabro húmedo.



Fuente : Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realiza la clasificación de los resultados para fibra Nylon y Polipropileno de manera independiente, se utiliza la recopilación de la matriz principal en la tabla 11 donde se tienen los componentes de cada diseño dependiendo si es: patrón (sin adición de fibra), modificado (con adición de fibra), tipo de fibra, cantidad de betún, cantidad de fibra y peso me la mezcla.


Para cada diseño, tanto patrón como modificado se realiza la elaboración de tres briquetas con el fin de tener un promedio en los resultados de cada diseño en términos de:

- Medidas: altura y diámetro
- Peso: Peso inicial de la biqueta (M1), Peso final de la muestra después de ser sometida a ensayo cántabro (M2) medida en gramos.
- Cantidad de partículas perdidas: $M1 - M2$ medida en gramos.
- Promedio de pérdidas por diseño: se obtiene las pérdidas de cada biqueta que replica tres veces por cada diseño determinado impacto medido peso y en porcentaje respecto a la masa inicial (M1).

EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PARTÍCULAS EN DISEÑOS PATRÓN Y DISEÑOS CON ADICION DE FIBRA NYLON BAJO ENSAYO CÁNTABRO SECO Y HUMEDO.

En proyecto se recopila la información de datos en los diseños Patrón y modificados con adición fibra Nylon, para una de las briquetas fabricadas en el laboratorio se lleva a cabo la medición la altura (mm), diámetro (mm) y masa inicial (M1) y masa final después de ser sometida a ensayo cántabro (M2).

La masa inicial de cada biqueta (M1) es fundamental en el desarrollo del proyecto, ya que esta medida determina las pérdidas de partículas respecto a la masa final de la biqueta tras ser sometida a ensayo cántabro, permitiendo cuantificar el impacto de la fibra en la resistencia a la abrasión y desgaste.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


9.1 ENSAYO CÁNTABRO EN CONDICIÓN SECA – DISEÑOS PATRÓN Y DISEÑOS CON ADICIÓN DE FIBRA NYLON.

Medidas de diseños patrón y modificados con adición de fibra Nylon.

Tabla 18. Datos principales de diseños patrón - diseños con fibra Nylon.

CANTABRO SECO DISEÑOS PATRON Y NYLON			
DISEÑO	ALTURA (mm)	DIAMETRO(mm)	M1 (g)
1-PATRON	62,18	99,80	1022,48
1-PATRON	62,28	99,80	1034,80
1-PATRON	62,31	99,80	1039,50
3	63,45	99,80	1041,10
3	63,46	99,80	1041,70
3	63,78	99,80	1043,20
5	63,88	99,80	1044,50
5	64,27	99,80	1045,00
5	64,44	99,80	1045,60
7- PATRON	65,11	99,80	1047,80
7- PATRON	65,42	99,80	1048,30
7- PATRON	65,85	99,80	1049,30
9	63,94	99,80	1044,80
9	65,43	99,80	1048,40
9	65,87	99,80	1050,50
11	63,58	99,80	1043,10
11	65,58	99,80	1048,40
11	65,68	99,80	1048,50
13 - PATRON	62,47	99,80	1039,90
13 - PATRON	63,08	99,80	1040,00
13 - PATRON	66,32	99,80	1051,10
15	65,11	99,80	1046,50
15	66,12	99,80	1050,70
15	66,41	99,80	1056,60
17	64,10	99,80	1044,90
17	64,36	99,80	1045,40
17	66,59	99,80	1061,60

Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En la tabla 18 se presentan las mediciones de las tres briquetas por cada diseño de la altura medida en milímetros, el diámetro medido en milímetros y el peso de la biqueta en gramos (M1).

Se presentan las mediciones para los diseños patrón:

- DISEÑO PATRON 1: Contenido de betún de 4.4%.
- DISEÑO PATRON 7: Contenido de betún de 4.8%.
- DISEÑO PATRON 13: Contenido de betún de 5.2%.

Se presentan las mediciones para los diseños modificados con adición de fibra Nylon:

- DISEÑO 3: Contenido de betún 4.4%, contenido de fibra Ny 0.03%.
- DISEÑO 5: Contenido de betún 4.4%, contenido de fibra Ny 0.06%.
- DISEÑO 9: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra Ny 0.03%.
- DISEÑO 11: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra Ny 0.06%.
- DISEÑO 15: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra Ny 0.03%.
- DISEÑO 17: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra Ny 0.06%.

Evaluación en la perdida de partículas ente abrasión y desgaste de los diseños patrón y modificados con nylon bajo ensayo cántabro.

En este ensayo se determina la cantidad de partículas perdidas tras someter cada una de las muestras a ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles, aplicando así la ecuación para determinar perdidas por medio de la ecuación cántabro.

Ecuación de ensayo Cántabro.

$$Pl = 100 * \frac{M1 - M2}{M1}$$


Fuente: INVÍAS – UNE 12698.

Donde:

PL: perdida de partículas por abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro (%).

M1: masa inicial de la muestra (g).

M2: masa final de la muestra tras ser sometida al desgaste (g).


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

**Perdida de partículas en diseños patrón y diseños con adición de fibra Nylon.
Resultados de diseños Patrón y modificados con adición de fibra Nylon.**

Tabla 19. Resultados de Cántabro seco para diseños patrón - diseños fibra Nylon.

CANTABRO SECO PATRON- NYLON				
DISEÑO	M1g)	M2(g)	CANTABRO (%)	PROM. CANTABRO (%)
1-PATRON	1022,48	746,10	27,03	27,03
1-PATRON	1034,80	749,80	27,54	
1-PATRON	1039,50	763,70	26,53	
3	1041,10	683,00	34,40	32,79
3	1041,70	690,80	33,69	
3	1043,20	727,10	30,30	
5	1044,50	788,10	24,55	24,19
5	1045,00	793,30	24,09	
5	1045,60	795,30	23,94	
7- PATRON	1047,80	760,25	27,44	26,22
7- PATRON	1048,30	788,60	24,77	
7- PATRON	1049,30	771,80	26,45	
9	1044,80	832,80	20,29	19,56
9	1048,40	843,10	19,58	
9	1050,50	852,80	18,82	
11	1043,10	937,80	10,09	9,98
11	1048,40	924,10	11,86	
11	1048,50	964,70	7,99	
13 - PATRON	1039,90	820,42	21,11	22,55
13 - PATRON	1040,00	800,80	23,00	
13 - PATRON	1051,10	803,50	23,56	
15	1046,50	834,80	20,23	12,25
15	1050,70	947,10	9,86	
15	1056,60	986,30	6,65	
17	1044,90	875,10	16,25	11,72
17	1045,40	903,90	13,54	
17	1061,60	1004,40	5,39	

Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En la tabla 19 se evalúa la respuesta de los diseños patrón y modificados con fibra nylon (Ny), calculando el porcentaje de pérdida de partículas en función de la masa inicial de la briqueta (M1) y la masa final (M2), por medio del software EXCEL aplicando la ecuación del ensayo cántabro. El resultado promedio cántabro ante abrasión y desgaste de cada diseño modificado con fibra Nylon es comparado con el diseño de referencia patrón obteniendo.

Determinación del impacto de las fibras nylon para diseños que poseen un contenido de betún de 4.4%.


- DISEÑO PATRON 1: perdió el 27.03% de su masa inicial.
- DISEÑO 3: perdió el 32.79% de su masa inicial.
- DISEÑO 5: obtuvo la menor cantidad de pérdidas en un 24.19% de su masa inicial.

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:

$$\text{Diferencia de perdidas} = 27.03\% - 24.19\% = 2.84\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{2.84\%}{27.03\%} * 100 = 10.5\%$$

El diseño 5 determina que al poseer una cantidad de betún en 4.4% y fibra Nylon en 0.06% **reduce el 10.5% en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condiciones secas.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	-----------------------------

Determinación del impacto de las fibras para diseños que poseen un contenido de betún de 4.8%.

- DISEÑO PATRON 7: perdió el 26.22% de su masa inicial.
- DISEÑO 9: perdió el 19.56% de su masa inicial.
- DISEÑO 11: obtuvo la menor cantidad de pérdidas en un 9.98% de su masa inicial.

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:

$$\text{Diferencia de perdidas} = 26.22\% - 9.98\% = 16.24\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{16.24\%}{26.22\%} * 100 = 61.9\%$$

El diseño 11 determina que al poseer una cantidad de betún en 4.8% y fibra Nylon en 0.06% **reduce el 61.9 % en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condiciones secas.

Determinación del impacto de las fibras para diseños que poseen un contenido de betún de 5.2%.

DISEÑO PATRON 13: perdió el 22.55% de su masa inicial.

DISEÑO 15: perdió el 12.25% de su masa inicial.


DISEÑO 17: obtuvo la menor cantidad de pérdidas en un 11.72% de su masa inicial.

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:

$$\text{Diferencia de perdidas} = 22.55\% - 11.72\% = 10.38\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{10.38\%}{22.55\%} * 100 = 46\%$$

El diseño 17 determina que al poseer una cantidad de betún en 4.8% y fibra Nylon en 0.06% **reduce el 46% en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condiciones secas.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Diseño optimo con adición de fibra Nylon que mejora la resistencia al desgaste y abrasión de la mezcla asfáltica porosa.

Se realiza la comparación de los diseños modificados que obtienen la mayor reducción en la perdida de partículas en comparación con los diseños Patrón.

- DISEÑO 5: reduce el 10.5% en la perdida de partículas al contener 0.06% de fibra nylon.
- DISEÑO 11: reduce el 61.9% en la perdida de partículas al contener 0.06% de fibra nylon.
- DISEÑO 17: reduce el 46 % en la perdida de partículas al contener 0.06% de fibra nylon

El diseño 11 obtuvo la mayor resistencia a la abrasión y desgaste, teniendo la mayor reducción en la perdida de partículas en un 61.9%, al ser sometido a ensayo cántabro en condición seca.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


9.2 ENSAYO CÁNTABRO EN CONDICIÓN HÚMEDA DE DISEÑOS PATRÓN Y DISEÑOS CON ADICIÓN FIBRA NYLON.

Medidas de diseños patrón y modificados con adición de fibra Nylon.

Tabla 20. Datos principales de diseños patrón y diseños fibra nylon.

CANTABRO HUMEDO DISEÑOS PATRON - NYLON			
DISEÑO	ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	M1(g)
1-PATRON	62,28	99,80	1023,2
1-PATRON	64,20	99,80	1042,1
1-PATRON	62,41	99,80	1030,7
3	62,32	99,80	1028,4
3	65,32	99,80	1050,5
3	63,52	99,80	1038,1
5	65,05	99,80	1045,1
5	63,73	99,80	1040,0
5	62,02	99,80	1025,8
7- PATRON	65,12	99,80	1048,0
7- PATRON	65,00	99,80	1043,8
7- PATRON	62,43	99,80	1032,8
9	63,46	99,80	1037,6
9	65,64	99,80	1056,6
9	65,33	99,80	1052,3
11	66,47	99,80	1065,7
11	65,77	99,80	1058,8
11	66,14	99,80	1061,8
13 - PATRON	64,67	99,80	1043,0
13 - PATRON	65,17	99,80	1048,2
13 - PATRON	65,42	99,80	1056,2
15	65,18	99,80	1049,8
15	64,32	99,80	1042,6
15	65,90	99,80	1059,2
17	63,75	99,80	1040,5
17	65,81	99,80	1060,9
17	64,74	99,80	1042,6

Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


En la tabla 20 se presentan las mediciones de las tres briquetas por cada diseño de la altura medida en milímetros, el diámetro medido en milímetros y el peso de la briqueta en gramos (M1).

Se presentan las mediciones para los diseños patrón:

- DISEÑO PATRON 1: Contenido de betún de 4.4%.
- DISEÑO PATRON 7: Contenido de betún de 4.8%.
- DISEÑO PATRON 13: Contenido de betún de 5.2%.

Se presentan las mediciones para los diseños modificados con adición de fibra Nylon:

- DISEÑO 3: Contenido de betún 4.4%, contenido de fibra Ny 0.03%.
- DISEÑO 5: Contenido de betún 4.4%, contenido de fibra Ny 0.06%.
- DISEÑO 9: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra Ny 0.03%.
- DISEÑO 11: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra Ny 0.06%.
- DISEÑO 15: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra Ny 0.03%.
- DISEÑO 17: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra Ny 0.06%.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Resultados de diseños Patrón y modificados con adición de fibra Nylon bajo ensayo cántabro en condición húmeda.

Tabla 21. Resultados de Cántabro húmedo para diseños patrón - diseños fibra Nylon.

CANTABRO HUMEDO DISELO - NYLON				
DISEÑO	M1(g)	M2(g)	CANTABRO (%)	PROM. CANTABRO (%)
1-PATRON	1023,2	426,5	58,3	52,0
1-PATRON	1042,1	565,3	45,8	
1-PATRON	1030,7	494,8	52,0	
3	1028,4	310,0	69,9	65,8
3	1050,5	371,1	64,7	
3	1038,1	383,9	63,0	
5	1045,1	509,2	51,3	43,0
5	1040,0	631,6	39,3	
5	1025,8	631,5	38,4	
7- PATRON	1048,0	565,8	46,0	46,9
7- PATRON	1043,8	544,1	47,9	
7- PATRON	1032,8	548,6	46,9	
9	1037,6	598,1	42,4	36,7
9	1056,6	638,7	39,6	
9	1052,3	756,1	28,1	
11	1065,7	680,4	36,2	33,9
11	1058,8	721,8	31,8	
11	1061,8	702,4	33,8	
13 - PATRON	1043,0	564,3	45,9	46,2
13 - PATRON	1048,2	557,7	46,8	
13 - PATRON	1056,2	571,5	45,9	
15	1049,8	631,6	39,8	34,6
15	1042,6	746,5	28,4	
15	1059,2	683,1	35,5	
17	1040,5	645,7	37,9	36,7
17	1060,9	722,7	31,9	
17	1042,6	621,7	40,4	

Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En la tabla 21 se evalúa la respuesta de los diseños patrón y modificados con fibra nylon (Ny), calculando el porcentaje de pérdida de partículas en función de la masa inicial de la briqueta (M1) y la masa final (M2), por medio del software EXCEL aplicando la ecuación del ensayo cántabro. El resultado promedio cántabro ante abrasión y desgaste de cada diseño modificado con fibra Nylon es comparado con el diseño de referencia patrón obteniendo.

Determinación del impacto de las fibras Nylon para diseños que poseen un contenido de betún de 4.4%.

- DISEÑO PATRON 1: perdió el 52.0% de su masa inicial.
- DISEÑO 3: perdió el 65.8% de su masa inicial.
- DISEÑO 5: obtuvo la menor cantidad de pérdidas en un 43% de su masa inicial.

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:


$$\text{Diferencia de perdidas} = 52.0\% - 43\% = 9\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{9\%}{52\%} * 100 = 17.3\%$$

El diseño 5 determina que al poseer una cantidad de betún en 4.4% y fibra Nylon en 0.06% **reduce el 17.3% en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condicione húmeda.

Determinación del impacto de las fibras Nylon para diseños que poseen un contenido de betún de 4.8%.

- DISEÑO PATRON 7: perdió el 46.9% de su masa inicial.
- DISEÑO 9: perdió el 36.7% de su masa inicial.
- DISEÑO 11: obtuvo la menor cantidad de pérdidas en un 33.9% de su masa inicial.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:

$$\text{Diferencia de perdidas} = 46.9\% - 33.9\% = 13\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{13\%}{49.6\%} * 100 = 26.2\%$$

El diseño 11 determina que al poseer una cantidad de betún en 4.8% y fibra Nylon en 0.06% **reduce el 26.2% en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condiciones húmeda.

Determinación del impacto de las fibras Nylon para diseños que poseen un contenido de betún de 5.2%.


- DISEÑO PATRON 13: perdió el 46.2% de su masa inicial.
- DISEÑO 15: obtuvo la menor cantidad de pérdidas en un 34.6% de su masa inicial.
- DISEÑO 17: perdió el 36% de su masa inicial al contener 0.06% de fibra nylon.

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:

$$\text{Diferencia de perdidas} = 46.2\% - 34.6\% = 11.6\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{10.38\%}{46.2\%} * 100 = 22.4\%$$

El diseño 15 determina que al poseer una cantidad de betún en 4.8% y fibra Nylon en 0.06% **reduce el 22.4% en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condición húmeda.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

DISEÑO ÓPTIMO QUE MEJORA LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y ABRASION DE LA MEZCLA ASFALTICA POROSA.

Se realiza la comparación de los diseños modificados que obtuvieron el menor porcentaje de perdidas respecto a los diseños Patrón.

- DISEÑO 5: reduce el 17.3% en la perdida de partículas al contener 0.06% de fibra nylon.
- DISEÑO 11: reduce el 26.2% en la perdida de partículas al contener 0.06% de fibra nylon.
- DISEÑO 15: reduce el 22.4% en la perdida de partículas al contener 0.06% de fibra nylon

El diseño 11 obtuvo la mayor resistencia a la abrasión y desgaste, teniendo la mayor reducción en la perdida de partículas en un 26.2%, al ser sometido a ensayo cántabro en condición húmeda.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PARTÍCULAS EN DISEÑOS PATRÓN Y DISEÑOS CON ADICIÓN DE FIBRA POLIPROPILENO BAJO ENSAYO CÁNTABRO EN CONDICION SECA Y HUMEDA.

En proyecto se recopila la información de datos en los diseños Patrón y modificados con adición fibra polipropileno, para una de las briquetas fabricadas en el laboratorio se lleva a cabo la medición la altura (mm), diámetro (mm) y masa inicial (M1) y masa final después de ser sometida a ensayo cántabro (M2).

Tabla 22. Datos principales de diseños patrón y diseños fibra Polipropileno.

CANTABRO SECO - POLIPROPILENO			
DISEÑO	ALTURA (mm)	DIÁMETRO (mm)	M1 (g)
1-PATRON	62,18	99,80	1022,48
1-PATRON	62,28	99,80	1034,80
1-PATRON	62,31	99,80	1039,50
4	62,36	99,80	1032,80
4	63,36	99,80	1029,60
4	64,85	99,80	1042,70
6	64,81	99,80	1038,30
6	64,11	99,80	1032,90
6	62,94	99,80	1022,80
7- PATRON	65,11	99,80	1047,80
7- PATRON	65,42	99,80	1048,30
7- PATRON	65,85	99,80	1049,30
10	63,25	99,80	1028,60
10	63,61	99,80	1032,70
10	63,45	99,80	1030,60
12	65,14	99,80	1053,70
12	65,07	99,80	1046,40
12	65,41	99,80	1053,80
13 - PATRON	62,47	99,80	1039,90
13 - PATRON	63,08	99,80	1040,00
13 - PATRON	66,32	99,80	1051,10
16	65,32	99,80	1053,00
16	65,44	99,80	1053,10
16	65,78	99,80	1053,90
18	65,56	99,80	1053,40
18	65,75	99,80	1055,00
18	65,88	99,80	1058,80

Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


En la tabla 22 se presentan las mediciones de las tres briquetas por cada diseño de la altura medida en milímetros, el diámetro medido en milímetros y el peso de la briqueta en gramos (M1).

Se presentan las mediciones para los diseños patrón:

- DISEÑO PATRON 1: Contenido de betún de 4.4%.
- DISEÑO PATRON 7: Contenido de betún de 4.8%.
- DISEÑO PATRON 13: Contenido de betún de 5.2%.

Se presentan las mediciones para los diseños modificados con adición de fibra Polipropileno:

- DISEÑO 4: Contenido de betún 4.4%, contenido de fibra PP 0.03%.
- DISEÑO 6: Contenido de betún 4.4%, contenido de fibra PP 0.06%.
- DISEÑO 10: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra PP 0.03%.
- DISEÑO 12: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra PP 0.06%.
- DISEÑO 16: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra PP 0.03%.
- DISEÑO 18: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra PP 0.06%.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Resultados de diseños Patrón y modificados con adición de fibra Polipropileno bajo ensayo cántabro en condición seca.

Tabla 23. Resultados de cántabro seco para diseños Patrón - fibra polipropileno.

CANTABRO SECO EN DISEÑOS PATRON – POLIPROPILENO				
DISEÑO	M1 (g)	M2 (g)	CÁNTABRO (%)	PROM. CANTABRO (%)
1-PATRON	1022,48	746,10	27,03	27,03
1-PATRON	1034,80	749,80	27,54	
1-PATRON	1039,50	763,70	26,53	
4	1032,80	798,00	22,73	24,87
4	1029,60	741,80	27,95	
4	1042,70	793,30	23,92	
6	1038,30	806,90	22,29	21,71
6	1032,90	783,00	24,19	
6	1022,80	832,10	18,64	
7- PATRON	1047,80	760,25	27,44	26,22
7- PATRON	1048,30	788,60	24,77	
7- PATRON	1049,30	771,80	26,45	
10	1028,60	849,90	17,37	17,90
10	1032,70	872,40	15,52	
10	1030,60	816,10	20,81	
12	1053,70	730,88	30,64	30,48
12	1046,40	692,00	33,87	
12	1053,80	769,90	26,94	
13 - PATRON	1039,90	820,42	21,11	22,55
13 - PATRON	1040,00	800,80	23,00	
13 - PATRON	1051,10	803,50	23,56	
16	1053,00	833,20	20,87	20,27
16	1053,10	820,50	22,09	
16	1053,90	865,80	17,85	
18	1053,40	761,60	27,70	24,97
18	1055,00	810,00	23,22	
18	1058,80	804,90	23,98	

Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En la tabla 23 se evalúa la respuesta de los diseños patrón y modificados con fibra nylon (PP), calculando el porcentaje de pérdida de partículas en función de la masa inicial de la briqueta (M1) y la masa final (M2), por medio del software EXCEL aplicando la ecuación del ensayo cántabro. El resultado promedio cántabro ante abrasión y desgaste de cada diseño modificado con fibra Polipropileno es comparado con el diseño de referencia patrón obteniendo.

Determinación del impacto de las fibras polipropileno para diseños que poseen un contenido de betún de 4.4%.

- DISEÑO PATRON 1: perdió el 27.03% de su masa inicial.
- DISEÑO 4: perdió el 24.87% de su masa inicial.
- DISEÑO 6: obtuvo la menor cantidad de pérdidas En un 21.71% de su masa inicial.

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:

$$\text{Diferencia de perdidas} = 27.03\% - 21.71\% = 5.31\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{5.31\%}{27.03\%} * 100 = 19.6\%$$


El diseño 6 determina que al poseer una cantidad de betún en 4.4% y fibra Polipropileno en 0.06% **reduce el 19.6% en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condición húmeda.

Determinación del impacto de las fibras polipropileno para diseños que poseen un contenido de betún de 4.8%.

DISEÑO PATRON 7: perdió el 26.22% de su masa inicial.

DISEÑO 10: obtuvo la menor cantidad de pérdidas en un 17.90% de su masa inicial al contener 0.03% de fibra polipropileno.

DISEÑO 12: perdió el 30.48% de su masa inicial.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:

$$\text{Diferencia de perdidas} = 26.22\% - 17.9\% = 8.32\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{8.32\%}{26.22\%} * 100 = 31.7\%$$

El diseño 10 determina que al poseer una cantidad de betún en 4.8% y fibra polipropileno en 0.06% se **reduce el 31.7% en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condiciones secas.

Determinación del impacto de las fibras polipropileno para diseños que poseen un contenido de betún de 4.8%.


- DISEÑO PATRON 13: perdió el 22.25% de su masa inicial.
- DISEÑO 16: obtuvo la menor cantidad de pérdidas en un 20.27% de su masa inicial.
- DISEÑO 18: perdió el 24.97% de su masa inicial.

IMPACTO DE LA FIBRA: Se determina con el diseño modificado que posee adición de fibra y que obtuvo menor pérdida de su masa inicial respecto al diseño Patrón:

$$\text{Diferencia de perdidas} = 22.25\% - 20.27\% = 1.88\%$$

$$\text{Perdidas \%} = \frac{1.88\%}{22.25\%} * 100 = 8.4\%$$

El diseño 16 determina que al poseer una cantidad de betún en 8.4 % y fibra polipropileno en 0.03% **reduce el 8.32% en la pérdida de partículas**, mejorando la resistencia a la abrasión y desgaste bajo ensayo cántabro en condición seca.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

ENSAYO CÁNTABRO EN CONDICIÓN HÚMEDA DE DISEÑOS PATRÓN Y DISEÑOS CON ADICIÓN FIBRA POLIPROPILENO.

Tabla 24. Datos principales para diseños de fibra polipropileno.

CANTABRO HUMEDO – POLIPROPILENO			
DISEÑO	ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	PESO SECO (g)
1-PATRON	62,28	99,80	1023,2
1-PATRON	64,20	99,80	1042,1
1-PATRON	62,41	99,80	1030,7
4	63,11	99,80	1034,6
4	62,45	99,80	1052,8
4	62,84	99,80	1060,3
6	63,14	99,80	1040,8
6	62,95	99,80	1038,5
6	62,84	99,80	1033,0
7- PATRON	65,12	99,80	1048,0
7- PATRON	65,00	99,80	1043,8
7- PATRON	62,43	99,80	1032,8
10	64,67	99,80	1045,5
10	65,77	99,80	1030,7
10	65,00	99,80	1061,9
12	65,33	99,80	1054,3
12	65,90	99,80	1033,4
12	65,18	99,80	1048,5
13 - PATRON	64,67	99,80	1043,0
13 - PATRON	65,17	99,80	1048,2
13 - PATRON	65,42	99,80	1056,2
16	65,17	99,80	1019,9
16	65,64	99,80	1072,3
16	65,32	99,80	1030,4
18	66,14	99,80	1049,9
18	66,47	99,80	1038,5
18	66,05	99,80	1017,5

Fuente: Velasco- Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------


En la tabla 24 se presentan las mediciones de las tres briquetas por cada diseño de la altura medida en milímetros, el diámetro medido en milímetros y el peso de la briqueta en gramos (M1).

Se presentan las mediciones para los diseños patrón:

- DISEÑO PATRON 1: Contenido de betún de 4.4%.
- DISEÑO PATRON 7: Contenido de betún de 4.8%.
- DISEÑO PATRON 13: Contenido de betún de 5.2%.

Se presentan las mediciones para los diseños modificados con adición de fibra Polipropileno:

- DISEÑO 4: Contenido de betún 4.4%, contenido de fibra PP 0.03%.
- DISEÑO 6: Contenido de betún 4.4%, contenido de fibra PP 0.06%.
- DISEÑO 10: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra PP 0.03%.
- DISEÑO 12: Contenido de betún 4.8%, contenido de fibra PP 0.06%.
- DISEÑO 16: Contenido de betún 5.2 %, contenido de fibra PP 0.03%.
- DISEÑO 18: Contenido de betún 5.2 %, contenido de fibra PP 0.06%.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

Resultados de diseños Patrón y modificados con adición de fibra Polipropileno bajo ensayo cántabro en condición húmeda.

Tabla 25. Resultados para diseños de fibra polipropileno.

CANTABRO HUMEDO - POLIPRIPILENO				
DISEÑO	M1 (g)	M2(g)	CANTABRO (%)	PROM. CANTABRO (%)
1-PATRON	1023,2	426,5	58,3	52,0
1-PATRON	1042,1	565,3	45,8	
1-PATRON	1030,7	494,8	52,0	
4	1034,6	155,2	85,0	85,6
4	1052,8	151,2	85,6	
4	1060,3	146,6	86,2	
6	1040,8	196,9	81,1	
6	1038,5	322,3	69,0	70,0
6	1033,0	412,3	60,1	
7- PATRON	1048,0	565,8	46,0	46,9
7- PATRON	1043,8	544,1	47,9	
7- PATRON	1032,8	548,6	46,9	
10	1045,5	105,7	89,9	88,9
10	1030,7	118,2	88,5	
10	1061,9	125,4	88,2	
12	1054,3	262,4	75,1	
12	1033,4	287,0	72,2	70,6
12	1048,5	372,4	64,5	
13 - PATRON	1043,0	564,3	45,9	46,2
13 - PATRON	1048,2	557,7	46,8	
13 - PATRON	1056,2	571,5	45,9	
16	1019,9	355,2	65,2	64,4
16	1072,3	351,6	67,2	
16	1030,4	403,8	60,8	
18	1049,9	241,9	77,0	
18	1038,5	709,4	31,7	66,0
18	1017,5	107,1	89,5	

Fuente: Velasco – Camargo.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

En la tabla 25 se evalúa la respuesta de los diseños patrón y modificados con fibra nylon (PP), calculando el porcentaje de pérdida de partículas en función de la masa inicial de la briqueta (M1) y la masa final (M2), por medio del software EXCEL aplicando la ecuación del ensayo cántabro. El resultado promedio cántabro ante abrasión y desgaste de cada diseño modificado con fibra Polipropileno es comparado con el diseño de referencia patrón obteniendo.

Determinación del impacto de las fibras polipropileno para diseños que poseen un contenido de betún de 4.4%.

- DISEÑO PATRON 1: perdió el 52% de su masa inicial.
- DISEÑO 4: perdió el 85.6% de su masa inicial.
- DISEÑO 6: perdió el 70% de su masa inicial.


Determinación del impacto de las fibras polipropileno para diseños que poseen un contenido de betún de 4.4%.

- DISEÑO PATRON 7: perdió el 46.9% de su masa inicial.
- DISEÑO 10: perdió el 88.9% de su masa inicial.
- DISEÑO 12: perdió el 70% de su masa inicial.

Determinación del impacto de las fibras polipropileno para diseños que poseen un contenido de betún de 4.4%.


- DISEÑO PATRON 13: perdió el 46.2% de su masa inicial.
- DISEÑO 16: perdió el 64.4% de su masa inicial.
- DISEÑO 18: perdió el 66% de su masa inicial.

IMPACTO DE LA FIBRA: Las mezclas asfálticas sometidas a ensayo cántabro en condición húmeda con **adición de fibra polipropileno tiene un impacto negativo** en la resistencia a la abrasión y desgaste, debido a que los diseños modificados obtuvieron mayor porcentaje de pérdidas que los diseños Patrón.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------


10 CONCLUSIONES

- En condición seca de ensayo cántabro, se determinó que la adición de fibras Nylon en mezclas asfálticas porosas tienen una influencia positiva en la resistencia al desgaste y abrasión, disminuyendo la pérdida de partículas entre el 10% y 61% respecto a los diseños no modificados.
- En condición húmeda de ensayo cántabro, se determinó que la adición de fibras Nylon en mezclas asfálticas porosas tienen una influencia positiva en la resistencia al desgaste y abrasión, disminuyendo la pérdida de partículas entre el 17% y 27% respecto a los diseños no modificados.
- En condición seca de ensayo cántabro, se determinó que la adición de fibras Polipropileno en mezclas asfálticas porosas tienen una influencia positiva en la resistencia al desgaste y abrasión, disminuyendo la pérdida de partículas entre el 10% y 30% respecto a los diseños no modificados.
- Se determina que la fibra nylon obtuvo el mejor comportamiento en los diseños de mezcla sometidos a ensayo de desgaste y abrasión, obteniendo un 61% en la disminución de pérdida de partículas respecto a los diseños Patrón.
- Se logra determina que el diseño que obtuvo la menor cantidad de perdidas posee 4.4% de betún y 0.06% de fibra Nylon, siendo este el DISEÑO 11 que tuvo una disminución del 61% de pérdidas.
- Se determina la influencia en la cantidad de la fibra, debido a que el mayor contenido de 0.06% tuvo una mejor respuesta en la mezcla asfáltica que el contenido de 0.03%.
- Se encontró el diseño de mejor resistencia a la abrasión que posee un contenido de betún medio 4.4%, lo cual favorece al diseño en términos de porosidad.
- De determino el impacto negativo en la resistencia a la abrasión y desgaste en los diseños que contiene fibra polipropileno sometidos a ensayo cántabro en condición húmeda.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
---	---	------------------------------------

11 BIBLIOGRAFÍA


- 1) COOLEY, L.; BROWN, E.; WATSON, Donald. Evaluation of open-Graded friction course mixtures containing cellulose fibers. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, no 1723, December.2000 p. 19-25.
- 2) European Committee for Standardization (CEN)EN 1998-1:2004, Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance, part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings CEN, Brussels, The Netherlands (2004)
- 3) B.O. Benjamin, B.B. DerekLong-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems Water Res., 37 (18) (2003), pp. 4369-4376
- 4) RADZISZEWSKI, Piotr. Modified asphalts mixtures resistance to permanent deformations. Bialystok Technical University. Wiejska Street 45A, 15-351 Bialystok, Poland. Journal of Civil Engineering and management. 2007. Vol. XIII. No 4, 307-315
- 5) Miller, D. E., & Burke, D. W. (1974). Influence of soil bulk density and water potential on Fusarium root rot of beans. Phytopathology, 64, 526-529.
- 6) E. Poirier, M. Moudgil, A. Fallahi, S. French, T. Tannert, Design and construction of a 53-meter-tall timber building at the University of British Columbia, in: Proceeding of the 14th World Conference on Timber Engineering (WCTE2016), Vienna, Austria, 2016, pp. 1–10.
- 7) G. BerzClimatic change: effects on and possible responses by the insurance industry Climate of the 21st Century: Changes and Risks, Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, Germany(2001), pp. 392-399
- 8) Alber, S., 2013. Veränderung des Schallabsorptionsverhaltens von offenporigen Asphalten durch Verschmutzung (Variation of sound absorption characteristics of porous asphalt due to clogging processes) (Ph.D. thesis). German language, Veröffentlichungen des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart, Heft 46, Stuttgart. DOI: 10.18419/opus-489
- 9) T. Aoyama, M. Ishikawa, T. Hirata, *et al.*Effect of surface roughness on adhesive shear strength between pure ice and a solid surfaceTransactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 23 (3) (2011), pp. 273-281

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
---	---	------------------------------------

- 10) T. Bharathidasan, S.V. Kumar, M.S. Bobji, *et al.* Effect of wettability and surface roughness on ice-adhesion strength of hydrophilic, hydrophobic and superhydrophobic surfaces *Applied Surface Science*, 314 (2014), pp. 241-250.
- 11) Meniscus and viscous forces during separation of hydrophilic and hydrophobic surfaces with liquid-mediated contacts *Materials Science and Engineering*, R61 (2008), pp. 78-106
- 12) Laboratory study on the adhesive properties of ice to the asphalt pavement of highway *Cold Regions Science and Technology*, 104–105 (2014), pp. 7-13
- 13) YUNG, Yee. Caracterización, diseño y verificación de una mezcla asfáltica drenante en caliente modificada con grano de llanta triturado y fibra Kaltex. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. Departamento de Ingeniería Civil. 2013.
- 14) Instructions for Determining the Stiffness and Fatigue Performance of Asphalt with the Dynamic Indirect Tensile Test as an Input Variable in the Dimensioning. AL Sp-09 Asphalt FGSV Publisher, Research Society for Road and Transportation, Cologne (2009)
- 15) Application of semi-analytical finite element method coupled with infinite element for analysis of asphalt pavement structural response *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2 (1) (2015), pp. 48-58.
- 16) H. Akbari, M. Pomerantz, H. Taha Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas *Sol. Energy*, 70 (2001), pp. 295-310
- 17) Zhang, Jiong; She, Rui; Dai, Zhaoxia; Ming, Ruiping; Ma, Guodong; Cui, Xinzhuang; Li, Li. *Construction & Building Materials*. Oct2018, Vol. 187, p803-818
- 18) Chu, L.; Tang, B.; Fwa, T.F. *Construction & Building Materials*. Dec2018, Vol. 191, p281-289. 9p. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.10.003.
- 19) Ma, Yukun; Gong, Manli; Zhao, Hongtao; Li, Xuyong. *Science of the Total Environment*. Feb2018, Vol. 613, p1130-1139. 10p. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.174
- 20) Pasetto, Marco; Baldo, Nicola. *International Journal of Pavement Research & Technology*. Mar2015, Vol. 8 Issue 2, p63-71. 9p.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON	FECHA: ABRIL DE 2019
---	--	-----------------------------

- 21) S. Pei, J.W. van de Lindt, M. Popovski, J.W. Berman, J.D. Dolan, J.M. Ricles, R. Sause, H. Blomgren, D.R. RammerCross laminated timber for seismic regions: progress and challenges for research and implementationJ. Struct. Eng-ASCE, 142 (4) (2016), p. E2514001.
- 22) RÓMEL SOLÍS, C. A. R. C. A. Ñ. O., & MORENO, E. I. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 21(3), 57-68.
- 23) BENAVIDES C., W.; GONZÁLEZ S., L.O.; (2012b). Fibras de polipropileno para reforzamiento de matrices cementicias: Una recopilación sobre fibras comercialmente disponibles. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira, 66p.
- 24) Marchioni M., Silva C.O. Cartilla de pavimento intertravado permeável, melhores práticas, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), São Paulo (2010)
- 25) SALAMANCA, A., & SADEGHIAN, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana
- 26) Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras, Revista ciencia e ingeniería neogranadina. (2010). Oscar Javier Reyes Ortiz, Juan Ricardo Troncoso Rivera y Fredy Alberto Reyes Lizcano.
- 27) Universidad de Sonora, México. (11 de 2016). Generalidades y definiciones sobre los pavimentos. Obtenido de [http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/capitulo 2.pdf](http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/capitulo%202.pdf)
- 28) LOPEZ, Herbert. Uso del cemento puzolánico tipo I (PM) como filler para modificar mezclas asfálticas, en caliente por medio del diseño Marshall. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de ingeniería Civil. Guatemala. Noviembre de 207
- 29) Castro, J., de Solminihac, H., Videla, C., & Fernández, B. (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. Revista ingeniería de construcción, 24(3), 271-284.
- 30) INVIAS. Art 400-13. Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos,2013, p-2.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

12 ANEXOS

Anexo A.




Fuente: Velasco – Camargo.

Anexo B.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

Anexo C.




Fuente: Velasco – Camargo.

Anexo D.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

Anexo E.




Fuente: Velasco – Camargo.

Anexo F



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------

Anexo G.




Fuente: Velasco – Camargo.

Anexo H.



Fuente: Velasco – Camargo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>MEJORAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POROSAS A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE NYLON</p>	<p>FECHA: ABRIL DE 2019</p>
--	---	------------------------------------